日機連 15 先端 －4－1

平成 15 年度

機械産業の対外経済活動に与える安全保障関連動向調査報告書

（生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準）
（ロケット航法装置）
（ロケット試験設備とステルス技術）

平成 16 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 安全保障貿易情報センター

序

戦後のわが国の経済成長に果たした機械工業の役割は大きく、また機械工業の発展を支えたのは技術開発であったと云っても過言ではありません。また、その後の公害問題、石油危機などの深刻な課題の克服に対しても、機械工業における技術開発の果たした役割は多大なものでありました。しかし、近年の東アジアの諸国を始めとする新興工業国の発展はめざましく、一方、わが国の機械産業は、国内需要の停滞や生産の海外移転の進展に伴い、勢いを失ってきつつあり、将来に対する懸念が台頭しております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題が山積しているのが現状であります。これらの課題の解決に向けて従来にもましてますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界あげて取り組む必要に迫られております。わが国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術･製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、わが国が勝ち残ってゆくにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要が高まっております。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして財団法人安全保障貿易情報センターに「機械産業の対外経済活動に与える安全保障関連動向調査」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成 16 年 3 月

社団法人　日本機械工業連合会

会　長　相　川　賢　太　郎

序

今日のわが国の経済力・技術力に鑑みると、今後ともわが国産業界の対外経済活動が活発化し、国際社会への進出は増大していくことが見込まれています。このような企業活動と安全保障をめぐる国際間題との関係はますます深遠かつ広範になっていくものと考えられます。

国際情勢を振り返れば、２００１年９月の米国同時多発テロ事件が象徴するように国際テロ組織による無差別テロ事件が世界各地で勃発し、他方、中東、インド、パキスタンにおける民族・宗教問題を背景にした地域紛争も未だおさまる兆しはありません。最近では、イラン問題、北朝鮮の核開発再開問題などが世界平和を一層不安定なものにしています。

このような国際情勢下、海外において広く活動を展開する我が国企業において、研究開発・生産された貨物・先端技術がこうした懸念国における通常兵器及び大量破壊兵器等の開発・製造に利用されることを防止するために、不拡散型輸出管理の重要性の認識はますます高まっています。我が国におきましても平成１４年４月に大量破壊兵器不拡散のためのキャッチオール規制も導入されるなど、企業による的確な自主輸出管理の実施が一層重要になっています。

この不拡散型輸出管理を的確に実施するためには、懸念企業情報や紛争地域における適切な安全保障に関する情報収集等が不可欠となり、また、こうした情報を収集提供していくことは、ひいては、健全な国際貿易を通じた我が国機械工業の振興に寄与することになります。

このような観点から、「機械産業の対外経済活動に与える安全保障関連動向調査」事業において、主として生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準、ロケット航法装置、ロケット試験設備とステルス技術に関する情報の収集分析を行ったものです。

本報告書が、わが国企業による的確な自主輸出管理の一助になるとともに企業の国際化の資として活用願えれば幸甚であります。

最後に、当財団法人安全保障貿易情報センターに対して、本調査、研究の機会を提供して頂きました社団法人日本機械工業連合会と関係者の皆様に対して厚く御礼申し上げる次第であります。

平成１６年３月

財団法人 安全保障貿易情報センター

理　事　長　　黒　田　　眞

総論

Ⅰ.調査目的

A. 生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準

第一次世界大戦で毒ガスが兵器として使用され、多数の悲惨な犠牲者がでて、その非人道性を認識し、反省として、国際的努力が行われ、1922 年「潜水艦及毒瓦斯ニ関スル五国条約」が検討されたが発効には至らなかったが、化学兵器及び生物兵器の戦時における使用を禁止した 1925 年のジュネーブ議定書「窒息性ガス、毒性ガス又はこれらに類するガス及び細菌学的手段の戦争における使用の禁止に関する議定書」として結実し、1928 年に発効した。しかししかし、これには開発・生産・取引に関する規制は設けられなかった。

1969 年にウ・タント国連事務総長は「化学・細菌兵器とその使用の影響」と題する報告書を提出し、同時に米国が国内の生物兵器能力廃棄を宣言した。

これを契機として、化学兵器・生物兵器の全面禁止についての議論が国連軍縮委員会（現在は「軍縮会議」）において行われることとなった。

その結果、国際連合総会などの場における議論を経て、1972 年、細菌や毒素が兵器として使用される可能性を完全になくすことを目的として、「細菌兵器（生物兵器）及び毒素兵器の開発、生産及び貯蔵の禁止並びに廃棄に関する条約」（ＢＷＣ、以下「生物兵器禁止条約」という。）が作成され、1975 年に発効した。

これらの条約を実効あらしめるための輸出管理についての国際的な協議は、オーストラリアの提案により 1985 年から行われ、1991 年５月に、化学兵器についての原料と製造に使用できる機器や技術の輸出に法規制の網をかぶせることに合意した。生物兵器についても、同じような輸出規制についての協議が進められている。これは「オーストラリア・グループ」と呼ばれており、現在日米を含めて３４カ国が参加している。

2001 年９月１１日の米国での同時多発テロ、および続いて起こった炭疽菌郵送事件によって、テロ事件で生物・化学兵器が使用される可能性が大きくクローズアップされることとなった。これには日本でのオウム真理教によるサリン事件と炭疽菌散布も大きく影響している。さらに細かい規制が必要となったのである。

我が国でも生物兵器禁止条約の批准に伴い、この条約を実施するため、「細菌兵器（生物兵器）及び毒素兵器の開発、生産及び貯蔵の禁止並びに廃棄に関する条約の実施に関する法律」を制定している。

従来生物兵器は国家が組織的に製造、使用するものとおもわれていた。しかし、2001 年９月１１日に起こった航空機自爆による同時多発テロと、それに続く炭疽菌郵送事件およ

び、我が国におけるオウムの炭疽菌散布事件は、テロリストの生物兵器使用の可能性を強くクローズアップさせ､それらに対する対応を迫られることとなった｡どちらかといえば、低開発国による生物兵器開発（生物兵器は貧者の核兵器といわれている）を生物剤関連の資器財の輸出規制で抑制するという方針は大きな変更が必要となった。オーストラリア・グループの規制機材の閾値は大幅に引き下げられ、生物剤では、従来警告リストの載っていたウイルスが全部コア・リストに移行した。そして新たにいくつかの病原体をリストに加えることが検討されている。

しかし規制資機材の閾値の低下は産業界にも大きな影響を与え、その適否が問題となって来た。特に生物兵器関連の資機材は殆どいや全てと言っていいほどのデュアル・ユースであり、製薬、食品、化粧品、殺虫剤の業界で広く使用されている。生物兵器製造のための特別な機材は存在しないと言ってもよい。そのため、これらの機材を製造・輸出を行っている業界への影響は少なくないと思われる。

これらの国際的な規制内容を今後どのように展開し継続するのは、その協議に参加する我が国にとって非常に重要な課題である。

Ｂ．ロケット航法装置等

ロケットやミサイルに関する輸出管理のための法令の技術解説書として、米国には「ＭＴＣＲ Annex Handbook」があり、貨物の機能・性能を技術的に判断して、輸出に際して国の許可を得る必要があるか否かを判定する指針となっている。日本においても、事情は同じであり、ロケット搭載の電子機器やロケット燃料の製造装置、ロケット用の構造材料や航法装置等の日本からの輸出において､日本の外為法に抵触するか否かの正確な技術判断が求められる。従って米国の上記解説書を調査分析することは、日本の輸出産業界にとって非常に意義のあることである。

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等

Ｂに引き続いて、米国版の航空宇宙関連貨物についての輸出管理解説書「ＭＴＣＲ Annex Handbook」の内容を調査分析する。

Ⅱ.調査内容

Ａ．生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準

本調査報告ではこれらを生物剤と生物兵器製造装置資機材に分けて、その内容とその基準について検討することとし、更に生物兵器とは裏腹な関係にあり、その位置付けの理解がとりわけ重要なワクチンについて別の項目を設けて検討調査を行うこととした。全体を通してこれまでの調査以上について微生物学的見地からより深い検討を加えた。

全体を Ⅰ　生物剤と規制基準、II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性、Ⅲ生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準の三つの項目立てとした。

Ⅰ　生物剤と規制基準では、生物兵器に使用可能な生物剤、主な生物剤の特性と危険度、生物剤の規制基準について述べた。

II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性では、人体用生物学的製剤とその製造工程、大規模生物兵器製造の可能性について述べた。

また III　生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準については、生物兵器製造関連資機材、ＡＧ等で規制されている器材・装置等、その他の規制可能な資機材、我が国の法令で規制されている生物兵器関連資機材等、規制基準に関する考え方に分けて調査検討を行なった。

Ｂ．ロケット航法装置等

平成 14 年と 15 年で、全２０アイテムある米国解説書の項目の内、最初の４アイテムまでの調査検討を完了し、今年度は残りの１６アイテム全部を二つに分けて、「Ｂ．ロケット航法装置等」、「Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等」として、全ての項目について技術検討を完了させた。

「Ｂ．ロケット航法装置等」では、アイテム５（推進薬製造）からアイテム１１（アビオニクス）までとし、以下の分析結果を得た。

アイテム５（推進薬製造）では、アイテム4に示す液体推進剤又は推進剤成分の生産、取り扱い、又は領収試験の設備については、いかなる石油製造設備や、大きな化学プラントの個々のコンポーネントと共通するものであり、典型的なコンポーネントとして、反応槽、液化装置、回収塔、過熱器、蒸発器、フィルタ組立、デカンタ、冷却装置、ガス分離器、及び遠心ポンプがあることを述べる。これらコンポーネントのいずれもが、単独で特別に液体推進剤の製造用に作られたものではないが、推進剤生産設備として結合されてしまうと、一般的に、その特定の推進剤の生産に最適化されるので、他のものを作るには適さな

くなることを明らかにする。

液体推進剤の領収試験には、殆どの化学品質管理実験室にあるものと共通の分析装置が必要で、例えば、ガスクロマトグラフィ、原子吸光分光計、赤外分光計、及びボンベ・カロリメータ等を用いる。これら装置は、液体推進剤の受け入れに際しては、そのまま液体推進剤の領収試験には、殆どの化学品質管理実験室にあるものと共通する、分析装置が必要で、例えば、ガスクロマトグラフィ、原子吸光分光計、赤外分光計、及びボンベ・カロリメータがある。これら装置は、液体推進剤の受け入れに際し、そのまま無修正で使うことができるものである。

ロケット用固体燃料を製造するための、連続式及びバッチ式の混合機（混錬機）又は、金属粉の製造装置、ジェットミル等の粉砕機については、これらはロケットのみならず、食品、医薬、印刷機のトナー等の一般産業界で広く用いられるものであり、輸出許可判定が難しい貨物であることを明らかにする。

アイテム６（複合材料の生産）では、ロケットの胴体や燃料タンク等を複合材料の炭素繊維等を型に巻き付けて製造する装置や 3 次元の織機等特殊な製造機械が中心となる。

繊維またはフィラメント状の材料から複合材料構造物または積層板を製作するように設計されたフィラメントワインディング装置、航空機機体構造とミサイル構体の複合材料製品のために設計されたテープ積層機械についても分析する。

アイテム７（熱分解技術）では、熱分解蒸着及び稠密化の設備であって、原料物質であるガスから熱分解を用いて物質を形成する装置について分析する。熱分解蒸着は高温の処理で、部品を作るための鋳型や中子の表面に、高密度の金属又はセラミックの薄膜を蒸着させるのに使われる。これは、基材とコーティング材とのあいだの接着力を高めるために別の物質をコーティングするのにも使われる。これら処理の目的は、ロケットシステムの重要部品が稼動する極限環境の中で、コーティング又は薄膜を蒸着した部品が、生き残る能力を改善することである。代表的な貨物として、アイソスタチックプレスについて分析する。

粉末冶金の分野では、一般産業界でもこの装置は使われている。

アイテム８（構造用材料）では、アイテム 1 のロケットシステム及びアイテム 2 のロケットサブシステムに使うために特に設計された構造用複合材料､積層材及び複合材料製品、及び、樹脂を含浸したファイバプリプレグ及び金属を被覆したファイバプリフォームであって、有機材料または金属の母材とともに使われて、繊維強化材又はフィラメント強化材を作るもの、更には、タングステン、モリブデン、及びこれら金属の合金であってロケッ

トモータの部品を作るためのもの等について分析する。

カーボン・カーボン構造は軍用機や民間機等に広く使われており、またセラミック複合材、シリコンカーバイド複合材、マレージング鋼、チタンを添加した二相ステンレス鋼等についても調査する。

アイテム９（航法装置）では、ジャイロアストロコンパス、加速度計、各種のジャイロスコープ、慣性航法装置、これらの製造装置、試験装置、アライメント装置について調査分析している。統合飛行計測システムでは、ミサイルの飛行経路を追尾するために慣性装置（加速度計とジャイロスコープ）と共に種々のセンサーを使用する。このシステムは、慣性誘導装置のみの場合より多くのデータを取得し、その情報を用いるので、より正確である場合が多い。各種のセンサー・データが付加される事により、より安価な慣性装置を使用しても、航法精度を減少させずに済むことが多い。これらのシステムは、航法精度の向上のために、利用可能な全ての情報を、いろいろな、ときには革新的な形で利用している。メーカーが、ここで言う「統合飛行計測システム」に様々な名前（例えばナビゲーション・システム）を使用しているので、違う名前で呼ばれているアイテムが実は、MTCR で規制するこの「統合飛行計測システム」と内容的に同じものであると言う可能性もある。統合飛行計測システムは巡航ミサイルを含む無人飛行機（UAV）に必要とされる装置であり、誤差がレンジの3.33パーセント以下の精度を達成することのできるシステムは、アイ法律で規制されている。統合飛行計測システムは、民間機および軍用機の両方に使用されることに注意のこと。ジャイロアストロコンパスは、人工衛星、又は天体を自動的に追尾して、位置や方向を導き出すものであり、構造上から自動シャッタやトラップドアで保護された可視用の光学レンズをもっていて、多くの望遠鏡はジンバルに支持されており（即ち、一個或いはそれ以上の回転枠の内側に取付けられている）光学的規準目標を自動的に特定、指し示すことができるようになっている。加速度計は、閾値が0.05ｇ以下のもの、又は線形誤差が最大出力の0.25%以下のもの、或いは両方を満たすもので、慣性航法システム用、或いは誘導システム用に設計されたものが規制されている。加速度計は民間航空機・軍用航空機の両方と、宇宙システム、油井での掘削応力試験などに用いられ、また慣性航法装置として自動車その他の地上車、電子機器、製造業、重力計、ロボット技術、遊園地の乗り物（ジェットコースター）などに使用される。しかしながら、これらのほとんどの用途では、慣性グレード加速度計がもつような高い安定性と、高い較正精度は必要とされない。ジャイロスコープについては、１ｇ の環境下で、ドリフトレート安定性規格が１時間当り0.5 度（1σ or rms）のもので、アイテム１のロケットシステムに使用可能な全ての型式

のジャイロが規制される。ジャイロは角度の変化（方位の変化）を検出、電気信号の形で測定値を出力する。時間情報、局地重力、加速度、その他の測定値などを伴うジャイロからの方位情報は、飛行体の速度、ヘディング、位置情報などが、誘導装置あるいは統合飛行計測システムによって予測されることを可能にする。それぞれの作動原理による異なるタイプのジャイロがいくつか存在する。慣性誘導ミサイルの殆どは、回転質量式（コマ式）ジャイロ、あるいは電気光学式（レーザ）ジャイロのどちらかを使用している。

また、100 g 以上の加速度のもとで機能する連続出力式の加速度計とジャイロの全てについても分析する。

製造装置、試験装置、アライメント装置については、などで以下に示すものについて

(1) レーザジャイロの鏡で、カッコ内に示された精度、或いはそれ以上の性能を出す為使われる装置：

（ｉ）散乱計（10ppm scatterometer）；

（ⅱ）反射計（50ppm reflectometer）；

（ⅲ）表面粗さ計（5Å profilometer）.

(2) その他の慣性機器用として：

（ｉ）慣性計測ユニット（IMU モデュール）用試験機；

（ⅱ）IMU プラットホーム試験機；

（ⅲ）IMU 安定化素子（stable element）取扱い冶具；

（ⅳ）IMU プラットフォーム バランス冶具；

（ｖ）ジャイロ チューニング試験台；

（ⅵ）ジャイロ動的バランス台；

（ⅶ）ジャイロ Run-in/モータ試験台；

（ⅷ）ジャイロ排気・注気試験台；

（ⅸ）ジャイロ ベアリング遠心加速試験用冶具；

（ｘ）加速度計軸調整台；

（ｘ ｉ）加速度計試験台.

分析する。

アイテム１０（フライト　コントロール）では、油圧式、機械式、光―電子式、電子機械式のフライトコントロールシステム及び姿勢制御装置について分析する。

フライトコントロールシステムはミサイルの安定飛行や安定した旋回運動を行うに必要な操舵機構を提供する。通常、操舵機構は操舵指令信号を誘導装置、ミッションコンピ

ュータ、或いは複合飛行機器システムなどから与えられる。フライトコントロールシステムは，駆動装置を内蔵している。駆動装置は方式によって、舵面を作動する、ノズルを動かす、噴流の制御を行う、推進装置を機能させるなど、それぞれの働きをする。フライトコントロールシステムは、また、センサーを持っていて飛行体の姿勢の変化､速度、姿勢の変化速度、高度、スロットルの設定値、大気温度、大気圧などを検知する。フライトコントロールシステムはロケットの機体の全体に配置されていて他の目的を持つシステムと一部兼用されている事もある｡センサーから制御コンピュータや駆動装置に送られる情報は、アナログ或いはデジタルの電気信号として送られる（フライーバイーワイヤ)。先端的なシステムでは、フライトコントロール用の機器間をデジタル信号で結ぶため光ファイバーを用いる事がある（フライーバイーライト)。光結合にすると、軽量化、電磁パルス・電磁妨害・雷等への感度減少、などを図ることが出来る。

アイテム１１（アビオニクス）では、電波高度計、レーダー、レーザーレーダーシステム、ＧＰＳ受信機等の航法衛星からの電波を受信して航法情報を得る装置について分析する。具体的な機器の例としては、

(a) 地形作図機

(b) 情景表示及び照合装置（デジタル、アナログ共）

(c) ドプラー航法用レーダ

(d) パッシブ干渉計

(e) 撮像センサー（アクティブ、パッシブ共）

等について分析する。

レーダ、ドップラー航法システムは航法、気象観測、衝突防止などの目的で、軍や民間の艦船，航空機に使用される。レーダ高度計は、多機種にわたる航空機に高度測定を初め、多くの目的で使用されている。レーザレーダーは、大気観測、海洋研究、煙突からの排気研究などに使われている。このシステムはレーダシステムと異なり、可視光や赤外線（IR）等、遥かに波長の短いものを使っているので光学系のレンズや窓などの外観で、直ぐそれと見分けが付く。長い波長の遠赤外で作動するシステムでは、光の取入れ部が金属であるように見える事がある。レーダアンテナと同様、システムの光学部は固定或いは可動の形式があり、各部分が、分かれた形になっているものもある。構造は重く､がっしりした取付けになっている。一般的に、これらの取付け表面に塗装はされていないが、導電性の耐腐食コーティングが施されている。航法装置の全てのシャーシは、アース機能がきちんと考慮されていて、電磁的な障害に耐えるようになっている。

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等

アイテム１２（発射支援）では、発射台装置、移動発射台、遮蔽室、地下発射サイロ、取扱装置、システム試験及び検査装置、指揮統制装置について分析する。コンクリート発射台のような単純なものから、最新の人工衛星打ち上げ装置に使われる複雑な発射装置、移動発射台等がある。液体ロケットの場合、ポンプ、タンク、パイプ、ホースで給燃され、また誘導システムはコンパス又は探知装置で校正及び調整がされる。

サブシステムの性能はコントロールセンターからのケーブルによってミサイルに設置された電気的及びソフトウェア試験器によって確認される。ロケットの発射に必要な油圧システム、制御電子機器、電子計算機、タンク、パイプ及び通信機器は多くの他の用途で用いられるものと同一でなくとも類似している。

重力計と重力勾配計は各地の重力を非常に正確に測定する。これらのデーターで弾道ミサイル射点の周囲数キロメーターの地上重力分布のデジタル図を作成する。重力のその地域における変化をロケット誘導ソフトウェアに入れて計算しないと誘導が不正確になる。航空機、ヘリコプター、船舶、潜水艦に重力計を装備すれば海上の重力地図を得ることができる。重力計を装備した航空機及びヘリコプターは山岳地形上の重力地図が得られる。重力勾配計は誘導システムの精度向上に用いられる。

無人航空機又はロケットシステムに使用できるテレメーター装置及びテレメーターを用いた制御装置、精密追尾システムや距離測定レーダーについても調査分析する。

アイテム１３（電子計算機）では、多くのロケット、UAV、巡航ミサイル等に搭載されていて、航法及び制御計算並びに慣性測定装置データのデジタル集積用のデジタル電子計算機について分析する。

アイテム１４（アナログデジタル変換器）では、すべての航空機、自動車の電気点火システム、エンジンセンサー用等に通常の堅牢部品として広範に使用されているアナログデジタル変換器（ＡＤＣ）について分析する。ＡＤＣは、その他民用途としてはセンサーシステム、電子カメラ、ラジオ等に用いられている。長期間用の人工衛星や宇宙船で放射線帯の中で動作させるものは過酷な温度でも運用ができ、かつ耐放射線能力が要求される。

アイテム１５（試験装置）では、振動試験システム、マッハ 0.9 以上の風洞、固体又は液体推進薬ロケット又はロケットモーター自体を試験できる試験台/試験スタンド、温度・高度・振動の環境試験室及び音響環境及び無響室、制動放射によって電磁放射線（Ｘ線）を発生させる電子加速器（Ｘ線発生装置）等の各種の試験装置について分析する。

アイテム１６（モデリングと設計ソフトウェア）では、モデリング、シミュレーション及びデザイン統合設計のためのツールとしての電子計算機とソフトウェアについて分析する。設計者はこれらのツールを使って、多くの設計変更や飛行環境を研究することができるので製造、試験及び実際のハードウェアの再設計を安価に実施することができる。

アイテム１７（ステルス）では、レーダーの反射波、紫外線/赤外線の及び音響等により相手から探知される可能性を減少させるための材料、装置そのためのソフトウェア（ステルス技術）について分析する。レーダーの反射特性を減少させるため特に設計された構造材料や塗料、赤外線又は紫外線の放射スペクトルを減少させる被覆物（塗料を含む）についての調査を行う。

アイテム１８（核の影響からの防護）では、ロケット及び無人航空機を核爆発の影響（例；電磁パルス（EMP)、X 線、複合爆発及び熱影響）から防護するための手段について分析する。集積回路は核兵器の爆轟で発生するガンマー線、X 線、電磁放射線のため、回路に永久電荷が生じて応答能力を破壊するか又は完全破壊されることがある。

このような影響から回路を保護する幾つかの方法のうち MTCR では二つの方法が規制されており、一つは本質的に集積回路を電離放射線の全線量から保護する（耐放射線化）ことであり、他は放射線の検知機を用いて核爆発からの線量速度を感知して回路の電源を遮断するか、爆発の影響が終了するまでトリガー保護装置を作動させることである。耐放射線装置は軍用、通信用、科学用、気象用衛星、宇宙ステーション、天体観測のような長期間目的の宇宙船に用いられる。しかしこれらの用途に耐えるために必要な全線量は MTCR で規制されている（5×10^{5} rads（Si））よりも一般にかなり低い値である。耐放射線集積回路は原子炉の安全用装置、制御用及びロボットシステム並びに高エネルギー加速装置、検出器、制御器及び安全装置のような高い放射線の環境でも使用される。

アイテム１９（その他のロケット及び無人航空機システム）では、完全なロケットシステム（弾道ミサイルシステム、宇宙打上げ機及び観測ロケットを含む）及び無人航空機（巡航ミサイルシステム、標的機、及び偵察用無人航空機を含む）であって、アイテム 1 に含まれ射程が 300km 以上のものについて分析する。

アイテム２０（その他の完全なサブシステム）では、アイテム 1 以外のアイテム 19 のシステムに使用される完全なサブシステム、又は“製造設備”及び“製造装置”として特別に設計されたものについて分析する。

Ⅲ.調査結果

調査目的,調査内容に述べたことを以下のような項目で分類してまとめた。

Ａ．生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準

Ⅰ　生物剤と規制基準

１　生物兵器に使用可能な生物剤

２　主な生物剤の特性と危険度

３　生物剤の規制基準

II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性

１　人体用生物学的製剤とその製造工程

２　大規模生物兵器製造の可能性

III　生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準

１　生物兵器製造関連資機材

２　ＡＧ等で規制されている器材・装置等

３　その他の規制可能な資機材

４　我が国の法令で規制されている生物兵器関連資機材等

５　規制基準に関する考え方

Ｂ．ロケット航法装置等

第１章　アイテム５　推進薬製造

第２章　アイテム６　複合材料の生産

第３章　アイテム７　熱分解技術

第４章　アイテム８　構造用材料

第５章　アイテム９　航法装置

第６章　アイテム１０　フライト　コントロール

第７章　アイテム１１　アビオニクス

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等

第１章　アイテム１２　発射支援

第２章　アイテム１３　電子計算機

第３章　アイテム１４　アナログデジタル変換機

第４章　アイテム１５　試験装置

第５章　アイテム１６　モデリングと設計ソフトウェア

第６章　アイテム１７　ステルス

第７章　アイテム１８　核の影響からの防護

第８章　アイテム１９　その他のロケット及び無人航空機システム

第９章　アイテム２０　その他の完全なサブシステム

［目次］

総論
１．調査目的 ····· i
２．調査内容 ····· iii
３．調査結果と得られた結論 ····· x

各論
Ａ．生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準 ····· 1
Ⅰ　生物剤と規制基準 ····· 5
１　生物兵器に使用可能な生物剤 ····· 5
２　主な生物剤の特性と危険度 ····· 23
３　生物剤の規制基準 ····· 58

II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性 ····· 65
１　人体用生物学的製剤とその製造工程 ····· 65
２　大規模生物兵器製造の可能性 ····· 73

III　生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準 ····· 76
１　生物兵器製造関連資機材 ····· 76
２　ＡＧ等で規制されている器材・装置等 ····· 90
３　その他の規制可能な資機材 ····· 95
４　我が国の法令で規制されている生物兵器関連資機材等 ····· 97
５　規制基準に関する考え方 ····· 108

Ｂ．ロケット航法装置等 ····· 117
第１章　アイテム５　推進薬製造 ····· 121
第２章　アイテム６　複合材料の生産 ····· 131
第３章　アイテム７　熱分解技術 ····· 146
第４章　アイテム８　構造用材料 ····· 155
第５章　アイテム９　航法装置 ····· 166
第６章　アイテム１０　フライト　コントロール ····· 189
第７章　アイテム１１　アビオニクス ····· 194

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 207
第１章　アイテム１２　発射支援‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 211
第２章　アイテム１３　電子計算機‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 227
第３章　アイテム１４　アナログデジタル変換機‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 230
第４章　アイテム１５　試験装置‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 233
第５章　アイテム１６　モデリングと設計ソフトウェア‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 250
第６章　アイテム１７　ステルス‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 254
第７章　アイテム１８　核の影響からの防護‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 265
第８章　アイテム１９　その他のロケット及び無人航空機システム‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 269
第９章　アイテム２０　その他の完全なサブシステム‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 271

各　　論

Ａ．生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準

目次

総論

Ａ．生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準…… 1

Ⅰ　生物剤と規制基準…… 5

　１　生物兵器に使用可能な生物剤…… 5

　２　主な生物剤の特性と危険度…… 23

　３　生物剤の規制基準…… 58

II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性…… 65

　１　人体用生物学的製剤とその製造工程…… 65

　２　大規模生物兵器製造の可能性…… 73

III　生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準…… 76

　１　生物兵器製造関連資機材…… 76

　２　ＡＧ等で規制されている器材・装置等…… 90

　３　その他の規制可能な資機材…… 95

　４　我が国の法令で規制されている生物兵器関連資機材等…… 97

　５　規制基準に関する考え方…… 108

Ⅰ　生物剤と規制基準

１　生物兵器に使用可能な生物剤

（１）　過去に使用された生物剤

歴史的にみると、生物兵器の使用は古くから行われていた。最も古い記録は、紀元前６世紀にアッシリア軍は敵の井戸をライムギ麦角で汚染させ、またギリシャ人のソロンはクリッサの攻城戦で、瀉下作用のあるハーブ、ヘリボー（クリスマス・ローズ、全草に含まれる有毒成分の毒性は強く、服用すれば嘔吐や下痢を起こす他、心臓にも作用して不正脈をきたす。かつては強力な催吐剤や強心剤として用いられた。ヨーロッパ原産の常緑の多年草。ギリシャ時代には根の乾燥粉末が精神薬として用いられた。また殺虫剤として使用されたが、現在のクリスマス・ローズと同じものかどうかは不明）を使用したと記載している。タタール軍（韃靼またはモンゴル軍）は１３４６年のカッファ（現在はクリミア半島のフェオドシア）の攻城戦で、ペストによる死者の死体をカタパルト(trebuchet と呼ばれる)で城壁を越えて投射した。守備側は死体をただちに海に投棄したが、その後のペストの流行のため、防御側は降伏を余儀なくされた。しかし死体の投入がペストの流行の直接の原因であったとは考えにくい。おそらく菌を保持した鼠と蚤が潜入し、衛生状態が極度に悪化していたため大流行となったと思われる。この時カッファを立ち退いた感染者たちの一部が、ヨーロッパを覆った黒死病の始まりの原因であると考えられている。ロシア軍も１７１０年にスエーデンに対し、エストニアでこの戦略を用いたようである。

天然痘（痘瘡）もしばしば生物兵器として使用された。１５世紀のアステカ帝国征服者のピサロは南アメリカの原住民に天然痘（ウイルス）で汚染された衣類を贈ったと述べている。もちろん当時は天然痘がウイルスによるものであることは知られていなかった。英国も同じようなことをしている。ジェフリー・アムハースト卿は１７５４年―１７６７年の対フランス・インディアン戦争でフランス側についた原住民に天然痘（ウイルス）の付着した毛布を贈った。カリヨン砦を守備する原住民に感染者が続出し、これが英軍への砦陥落の直接原因となった。

２０世紀では、第一次世界大戦で、米国内のドイツ軍のスパイは、米国からフランスに輸出される馬や牛に鼻疽菌を接種したことが確実視されている。日本でも１９３７年から１９４５年まで、７３１部隊によって、中国東北地方のハルビンの南約５０キロの平房で大規模な研究を行った。この時研究の対象となったのは、ペスト、腸チフス、パラチフスＡおよびＢ、発疹チフス、天然痘、野兎病、流行性黄疸（現在のＡ型肝炎）ガス壊疽、破傷風、コレラ、赤痢、馬鼻疽、猩紅熱、波状熱、ダニ媒介脳炎、流行性出血熱（現在の韓

国出血熱＝腎症候性出血熱かと思われる)、百日咳、ジフテリア、肺炎、流行性脳脊髄膜炎、梅毒、結核である。おもにこれらの大量培養法、散布や伝播の手段や感染病理が研究された。その他、凍傷の研究も行われた。非人道的な人体実験が行われたことで悪名が高い。

米国では１９４３年から、ドイツや日本に対抗する防御手段としての生物兵器研究がキャンプ・デドリック（現在のフォート・デドリック）で始まり、１９６９年のニクソン大統領が研究及び生産の停止命令を出すまで続いた。この時廃棄された病原体は炭疽菌、ボツリヌス毒素、野兎病菌、Q熱リケッチア、ベネズエラウマ脳炎ウイルス、ブタ流産菌、ブドウ球菌毒素Ｂである。米国は１９５３年に生物兵器に対する医学的防御の研究プログラムを米国陸軍感染症医学研究所で開始し現在まで続いている。

（２）　現在使用される可能性のある生物剤

ア．　生物兵器として用いられる生物剤に必要な要件

Anthony T. Tu コロラド州立大学教授は下記の性質をあげている。

（ア）　大量生産が可能であること

（イ）　生産が簡単であること

（ウ）　殺傷力が強力であること

（エ）　敵に防護方法がないこと

（オ）　検出が困難であること

（カ）　潜伏期間が短いこと

（キ）　安定性に富むこと

（ク）　体内への導入が色々なルートをとれること

（ケ）　砲弾や弾頭等に入れて爆発したときの熱や高圧の衝撃に耐えうること。

イ．　理想の生物兵器

これらを念頭において理想の生物兵器の性質を考えて見ると下記のことがあげられると思われる。

（ア）　高度の病原性　速やかに病気を起こさせる

（イ）　高度の伝染性

（ウ）　環境中では比較的短時間しか生存しない

（エ）　秘匿、隠蔽が可能

（オ）　治療法はないが自国の兵士は防御できる

（カ）　生産が安価で安全である

（キ）　製造に高度の技術を必要としない

現在のところこのような理想的な生物兵器は存在していない。しかし現代のバイオテクノロジーの急速な進歩は遺伝的に改変、修飾された、これまで知られていなかった病原体を構築することを可能とするかもしれない。

問題点として

（ア）　環境中に長く生存する可能性がある

（イ）　自国の軍隊に感染する恐れがある

（ウ）　生物兵器を使用すると敵もまた使用する可能性がある

（エ）　核攻撃のような強い報復を受ける恐れがある

がある。このようなことは国家として生物兵器を使用することを躊躇させるであろうが、テロリストたちの考慮にはいるかどうかは疑問である。

（３）　オーストラリアグループ（ＡＧ）

１９85 年オーストラリアが化学兵器、生物兵器の拡散の危険性を最小限にするために、化学剤の供給能力を持つ各国が輸出管理政策の協調を行い､協力を強化することを提案し、国際会議が開かれた。議長国がオーストラリアであったのでオーストラリアグループ（ＡＧ）と呼ばれている。ただし法的拘束力は持っていない。ＡＧは規制すべき危険な病原体として下記のものをあげている。テロ事件多発の影響を受け、最近従来警告リストに載っていたものがコアリストにうつり、新たな病原体が加えられた。ＥＲＡ（Export Administration Regulations）やＥＵリストも全く同じである。わが国でも経済産業省がこれに準じて規制を行っている。また後述するように規制される機材も、テロリストの使用の可能性を考慮し、閾値を下げ小規模化している。

（４）　現在規制されているか、法制化されている生物剤

オーストラリアグループリスト

a.　ヒトに病原性を示すもの

コアリスト

ウイルス

V1. Chikungunya virus　チキングニアウイルス

V2. Congo-Crimean haemorrhagic fever virus　クリミア-コンゴ出血熱ウイルス

V3. Dengue fever virus　デングウイルス

V4. Eastern equine encephalitis virus　東部ウマ脳炎ウイルス

V5. Ebola virus　エボラウイルス

V6. Hantaan virus　ハンターンウイルス

V7. Junin virus　フニンウイルス

V8. Lassa fever virus　ラッサ熱ウイルス

V9. Lymphocytic choriomeningitis virus　リンパ球性脈絡髄膜炎ウイルス

V10. Machupo virus　マチュポウイルス

V11. Marburg virus　マールブルグウイルス

V12. Monkey pox virus　サル痘ウイルス

V13. Rift Valley fever virus　リフトバレー熱ウイルス

V14. Tick-borne encephalitis virus (Russian Spring-Summer encephalitis virus) ダニ媒介脳炎ウイルス（ロシア春夏脳炎ウイルス）

V15. Variola virus　痘瘡ウイルス

V16. Venezuelan equine encephalitis virus　ベネズエラウマ脳炎ウイルス

V17. Western equine encephalitis virus　西部ウマ脳炎ウイルス

V18. White pox　白痘

V19. Yellow fever virus　黄熱ウイルス

V20. Japanese encephalitis virus　日本脳炎

V21. Kyasanur Forest virus　キャサヌール森林ウイルス

V22. Louping ill virus　跳躍病ウイルス

V23. Murray Valley encephalitis virus　マレー渓谷脳炎ウイルス

V24. Omsk haemorrhagic fever virus　オムスク出血熱ウイルス

V25. Oropouche virus　オロポーチウイルス

V26. Powassan virus　ポワッサンウイルス

V27. Rocio virus　ロシオウイルス

V28. St Louis encephalitis virus　セントルイス脳炎ウイルス

V29. Hendra virus (Equine morbillivirus)　ヘンドラウイルス（ウマモービリウイルス）

V30. South American haemorrhagic fever (Sabia, Flexal, Guanarito)　南アメリカ出血熱（サビア、フレクザル、グアナリト）

V31. Pulmonary & renal syndrome-haemorrhagic fever viruses (Seoul, Dobrava, Puumala, Sin Nombre)　肺および腎症候性出血熱ウイルス

V32. Nipah virus　ニパウイルス

注　White pox は国際ウイルス命名委員会（ＩＣＴＶ）によって認められたものではない。

したがって教科書にはほとんど記載されていない。動物から得られた痘瘡ウイルスの１種ではないかと思われている。かなり危険と考えられているのでリストに取り上げてあるのであろう。

リケッチア

R1. Coxiella burnetii　Q熱コクシエラ

R2. Bartonella quintana (Rochalimea quintana, Rickettsia quintana)　塹壕熱ロシャメリア

R3. Rickettsia prowazeki　発疹チフスリケッチア

R4. Rickettsia rickettsii　ロッキー山紅斑熱リケッチア

細菌

B1. Bacillus anthracis　炭疽菌

B2. Brucella abortus　ウシ流産菌（バング菌）

B3. Brucella melitensis　ヤギ流産菌

B4. Brucella suis　ブタ流産菌

B5. Chlamydia psittaci　オウム病クラミジア

B6. Clostridium botulinum　ボツリヌス菌

B7. Francisella tularensis　野兎菌

B8. Burkholderia mallei (Pseudomonas mallei)　鼻疽菌

B9. Burkholderia pseudomallei (Pseudomonas pseudomallei)　類鼻疽菌

B10. Salmonella typhi　チフス菌

B11. Shigella dysenteriae　赤痢菌

B12. Vibrio cholerae　コレラ菌

B13. Yersinia pestis　ペスト菌

B14. Clostridium perfringens, epsilon toxin producing types2　ガス壊疽菌（ウェルシュ菌）

B15. Enterohaemorrhagic Escherichia coli, serotype O157 and other verotoxin producing serotypes　腸管出血性大腸菌　血清型O157

毒素

T1. Botulinum toxins3　ボツリヌス毒素３

T2. Clostridium perfringens toxins　ガス壊疽菌毒素

T3. Conotoxin　コレラ毒素

T4. Ricin　リシン

T5. Saxitoxin　麻痺性貝毒

T6. Shiga toxin　赤痢菌毒素

T7. Staphylococcus aureus toxins　黄色ブドウ球菌毒素

T8. Tetrodotoxin　フグ毒

T9. Verotoxin　ベロ毒素

T10. Microcystin (Cyanginosin)　ミクロシスチン

T11. Aflatoxins　アフラトキシン

T12. Abrin　アブリン

T13. Cholera toxin　コレラ毒素

T14. Diacetoxyscirpenol toxin ジアセトキシスカーペノール（フザリウム毒度）

T15. T-2 toxin　T-2 毒素

T16. HT-2 toxin　HT-2 毒素

T17. Modeccin toxin　モデクシン毒素

T18. Volkensin toxin　ボルケンシン毒素

T19. Viscum Album Lectin 1 (Viscumin)　ヤドリギレクチン１（ビスクミン）

遺伝子と遺伝的に修飾された生物

G1. 本リスト中の微生物の病原性に関連する核酸配列を含む遺伝子

G2. 本リスト中の毒素またはそのサブユニットをコードする核酸配列を含む遺伝子

G3. 本リスト中の微生物の病原性と関連する核酸配列をもつ遺伝的に修飾された生物

G4 本リスト中の毒素またはそのサブユニットをコードする核酸配列をもつ遺伝的に修飾された生物

警告リスト

細菌

WB1. Clostridium tetani　破傷風菌

WB2. Legionella pneumophila　レジオネラ・ニュウモフィラ（在郷軍人病の原因菌）

WB3. Yersinia pseudotuberculosis　偽結核菌

ｂ．　植物に病原性を示すもの

細菌

PB1. Xanthomonas albilineans

PB2. Xanthomonas campestris pv. citri

真菌

PF1. Colletotrichum coffeanum var. virulans (Colletotrichum kahawae)

PF2. Cochliobolus miyabeanus (Helminthosporium oryzae)

PF3. Microcyclus ulei (syn. Dothidella ulei)

PF4. Puccinia graminis (syn. Puccinia graminis f. sp. tritici)

PF5. Puccinia striiformis (syn. Puccinia glumarum)

PF6. Pyricularia grisea / Pyricularia oryzae

遺伝子配列と遺伝的に修飾された生物

PG1 コアリスト中の微生物の病原性に関連する核酸配列を含む遺伝子

PG2 コアリスト中の微生物の病原性と関連する核酸配列をもつ遺伝的に修飾された生物

注意すべきもの

細菌

PWB1. Xanthomonas campestris pv. oryzae

PWB2. Xylella fastidiosa

真菌

PWF1. Deuterophoma tracheiphila (syn. Phoma tracheiphila)

PWF2. Monilia rorei (syn. Moniliophthora rorei)

ウイルス

PWV1 Banana bunchy top virus　バナナバンチートップウイルス

遺伝子配列と遺伝的に修飾された生物

PWG1 注意喚起ガイドラインの微生物病原性に関連した核酸配列をもつ遺伝子

PWG2 注意喚起ガイドラインの微生物病原性に関連した核酸配列をもつ生物

ｃ．動物病原体

ウイルス

AV1.　African swine fever virus　アフリカブタ熱ウイルス

AV2.　Avian influenza virus2＊　トリインフルエンザウイルス２型

AV3.　Bluetongue virus　ブルータングウイルス

AV4.　Foot and mouth disease virus　口蹄病ウイルス

AV5.　Goat pox virus　ヤギ痘ウイルス

AV6.　Herpes virus (Aujeszky's disease)　ヘルペスウイルス（オーエスキー病ウイルス　仮性狂犬病ウイルス）

AV7.　Hog cholera virus (*synonym:* swine fever virus)　豚コレラウイルス（ブタ熱ウイルス）

AV8.　Lyssa virus　狂犬病ウイルス

AV9.　Newcastle disease virus　ニューカッスル病ウイルス

AV10.　Peste des petits ruminants virus　小反芻獣疫ウイルス

AV11.　Porcine enterovirus type 9 (*synonym:* swine vesicular disease virus)　ブタエンテロウイルス９型

AV12.　Rinderpest virus　牛疫ウイルス

AV13.　Sheep pox virus　ヒツジ痘ウイルス

AV14.　Teschen disease virus　テッシェン病ウイルス

AV15.　Vesicular stomatitis virus　水泡性口内炎ウイルス

AV16.　Lumpy skin disease virus　ランピースキン病ウイルス

AV17.　African horse sickness virus　アフリカ馬疫ウイルス

1.　ワクチンに使用されるものを除く。.

＊2.　高病原性のトリインフルエンザウイルスのみ

細菌

AB3.　Mycoplasma mycoides　マイコプラズマ・ミコイデス

遺伝子配列と遺伝的に修飾された生物

AG1. 本リスト中の微生物の病原性に関連する核酸配列を含む遺伝子

AG2. 本リスト中の微生物の病原性と関連する核酸配列をもつ遺伝的に修飾された生物

（５）　新感染症法

平成 11 年 4 月から「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」（感染症法）が施行された。危険度に応じて感染症を６つに分類し取り扱いをきめている。このなかで生物兵器として使用される可能性の高いものは、１類、２類および３類感染症であると思われるが、感染症としては極めて危険であるが、生物兵器としては使用しにくいものもある。この法律は，従来の伝染病予防法，性病予防法および後天性免疫不全症候群の予防に関する法律を廃止・統合したものであり，結核を除くすべての感染症を対象としている。ヒトを対象としたもので、動物や植物に対するものは含まれない。

ａ．1 類感染症

感染症名

エボラ出血熱

クリミア・コンゴ出血熱

ペスト

マールブルク病

ラッサ熱

特徴

感染力、罹患した場合の重篤性等に基づく総合的な観点からみた危険性が極めて高い感染症。ペスト菌を除くウイルス性疾患には有効な治療法が見つかっていない。

主な対応

原則として入院

消毒等の対物措置（例外的に、建物への措置、通行制限等の措置も適用対象とする）

ｂ．２類感染症

急性灰白髄炎

コレラ

細菌性赤痢

ジフテリア

腸チフス

パラチフス

特徴

感染力、罹患した場合の重篤性等に基づく総合的な観点からみた危険性が高い感染症

主な対応

状況に応じて入院

消毒等の対物措置

ｃ．３類感染症

腸管出血性大腸菌感染症

特徴

感染力，罹患した場合の重篤性から判断して，危険性は高くないが，特定の職業への就業によって集団発生を起こし得る感染症

主な対応

特定職種への就業制限

消毒等の対物措置

ｄ．4 類感染症

アメーバー赤痢，エキノコックス症，急性ウイルス性肝炎，黄熱，オウム病，回帰熱，Q 熱，狂犬病，クリプトスポリジウム症，クロイツフェルト・ヤコブ病，劇症型溶血性レンサ球菌感染症，後天性免疫不全症候群，コクシジオイデス症，ジアルジア症，腎症候性出血熱，髄膜炎性髄膜炎，先天性風疹症候群，炭疽，ツツガムシ病，デング熱，日本紅斑熱，日本脳炎，乳児ボツリヌス症，梅毒，破傷風，バンコマイシン耐性腸球菌感染症，ハンタウイルス肺症候群，B ウイルス病，ブルセラ症，発疹チフス，マラリア，ライム病，レジオネラ症，インフルエンザ，咽頭結膜熱，突発性発疹，A 群溶血性レンサ球菌咽頭炎，百日咳，感染性胃腸炎，風疹，水痘，ヘルパンギーナ，手足口病，麻疹，伝染性紅斑，流行性耳下腺炎，急性出血性結膜炎，流行性角結膜炎，性器クラミジア感染症，性器ヘルペスウイルス感染症，尖形コンジローム，淋菌感染症，急性脳炎，クラミジア肺炎，細菌性髄膜炎，ペニシリン耐性肺炎球菌感染症，マイコプラズマ肺炎，成人麻疹，無菌性髄膜炎，メチシリン耐性黄色ブドウ球菌感染症，薬剤耐性緑膿菌感染症

特徴

国が感染症発生動向調査を行い，その結果等に基づいて必要な情報を一般国民や医療関係者に提供・公開していくことによって，発生・拡大を防止すべき感染症

主な対応

発生状況の収集，分析とその結果の公開，提供

ｅ．指定感染症

政令で 1 年間に限定して指定された感染症

特徴

既知の感染症の中で 1ー3 類に分類されない感染症で，1ー3 類に準じた対応の必要性が生じた感染症

主な対応・措置

厚生大臣が公衆衛生審議会の意見をきいた上で 1ー3 類感染症に準じた入院措置や消毒等の対物措置を実施

ｆ．新感染症

政令で症状等の要件指定をした後に 1 類感染症と同等の扱いをする感染症

特徴

人から人へ感染すると認められる疾病であって，既知の感染症と症状等が明らかに異なり，その感染力および罹患した場合の重篤性から判断して，危険性が極めて高い感染症

主な対応・措置

1類感染症に準じた対応を行う

２００３年春世界的に流行した重症急性呼吸器症候群（SARS）は指定感染症の取り扱いとなった。

（6）　農水省

ａ．家畜伝染病

農水省では家畜伝染病として、下記のものを伝染病として定めている。

法定伝染病

1.　牛疫
2.　牛肺疫
3.　口蹄疫
4.　流行性脳炎
5.　狂犬病
6.　水胞性口炎
7.　リフトバレー熱
8.　炭疽
9.　出血性敗血症
10.　ブルセラ病
11.　結核病
12.　ヨーネ病
13.　ピロプラズマ病（省令で定める病原体によるものに限る。）
14.　アナプラズマ病（省令で定める病原体によるものに限る。）
15.　伝染性海綿状脳症
16.　鼻疽
17.　馬伝染性貧血
18.　アフリカ馬疫
19.　豚コレラ
20.　アフリカ豚コレラ
21.　豚水胞病
22.　家きんコレラ
23.　高病原性鳥インフルエンザ

24. ニューカッスル病

25. 家きんサルモネラ感染症（省令で定める病原体によるものに限る。）

26. 腐蛆病

届出伝染病

1. ブルータング

2. アカバネ病

3. 悪性カタル熱

4. チュウザン病

5. ランピースキン病

6. 牛ウイルス性下痢・粘膜病

7. 牛伝染性鼻気管炎

8. 牛白血病

9. アイノウイルス感染症

10. イバラキ病

11. 牛丘疹性口炎

12. 牛流行熱

13. 類鼻疽

14. 破傷風

15. 気腫疽

16. レプトスピラ症

17. サルモネラ症

18. 牛カンピロバクター症

19. トリパノソーマ病

20. トリコモナス病

21. ネオスポラ症

22. 牛バエ幼虫症

23. ニパウイルス感染症

24. 馬インフルエンザ

25. 馬ウイルス性動脈炎

26. 馬鼻肺炎

27. 馬モルビリウイルス肺炎

28. 馬痘
29. 野兎病
30. 馬伝染性子宮炎
31. 馬パラチフス
32. 仮性皮疽
33. 小反芻獣疫
34. 伝染性膿疱性皮炎
35. ナイロビ羊病
36. 羊痘
37. マエディ・ビスナ
38. 伝染性無乳症
39. 流行性羊流産
40. トキソプラズマ病
41. 疥癬
42. 山羊痘
43. 山羊関節炎・脳脊髄炎
44. 山羊伝染性胸膜肺炎
45. オーエスキー病
46. 伝染性胃腸炎
47. 豚エンテロウイルス性脳脊髄炎
48. 豚繁殖・呼吸障害症候群
49. 豚水疱疹
50. 豚流行性下痢
51. 萎縮性鼻炎
52. 豚丹毒
53. 豚赤痢
54. 鳥インフルエンザ
55. 鶏痘
56. マレック病
57. 伝染性気管支炎
58. 伝染性喉頭気管炎

59. 伝染性ファブリキウス嚢症

60. 鶏白血病

61. 鶏結核病

62. 鶏マイコプラズマ病

63. ロイコチトゾーン病

64. あひる肝炎

65. あひるウイルス性腸炎

66. 兎ウイルス性出血病

67. 兎粘液腫

68. バロア病

69. チョーク病

70. アカリンダニ症

71. ノゼマ病

などが対象となっている。オーストラリア・グループのリストと比べてみると、あまり一致していない。生物兵器としての見地と畜産上の見地の違いであろう。例えば、伝染性海綿状脳症（いわゆる狂牛病）は極めて重要な疾患であるが、生物兵器としては殆ど考慮されていないであろう。飼料として長期間与えなければならないこと、潜伏期が比較的長いこと、発症率が明らかでないことによる。しかし発症すればその衝撃は大きい。見かけ上健康な牛であっても、可能性があれば（同じ飼料を摂取していれば）すべて屠殺しなければならない。それによって蒙る損害は極めて甚大である。イギリスで発生したときの騒ぎは記憶に新しい。

ｂ．植物病

植物に関しては国際植物防疫条約があり、締約国は植物及び植物生産物に対する有害動植物の防除並びにそのまん延の防止、特に、国境を越えての侵入の防止における国際協力を行い、植物及び植物生産物に対する有害動植物のまん延及び侵入を防止するため共同のかつ有効な行動を確保し並びにその防除のための措置を促進することを目的をとしている。

我が国は植物防疫法により植物の輸入の規制を行っている。規制しているのは植物であるが、問題となるのはそれに付着している昆虫、寄生虫、細菌、真菌、ウイルスである。対象となっているのは、地中海ミバエ,ミカンコミバエ種群、クインスランドミバエ、ウリミバエ、コドリン蛾、アリモドキゾウリムシ、イモゾウリムシ、ジャガイモ癌腫病菌、コロラドハムシ、ジャガイモシスト線虫、ジャガイモシロシスト線虫、タバコベト病菌、柑

橘根もぐり線虫、ヘシアンバエ、イネクキセンチュウ、トリココニス・カウダタ、バランシア・オリゼー、過小火傷病菌、甜菜シスト線虫、偽根瘤線虫、バナナ根もぐり線虫、豌豆萎凋病菌、インゲン豆萎凋病菌、スイカ萎凋病菌、スイカ果実汚斑病菌、トウモロコシ萎凋病菌、トウモロコシ葉枯病菌、ソラマメステインウイルス、ソラマメトウルーモザイクウイルスである。

（７）　スタンフォード大学バイオハザード病原体分類

危険度により５クラスに分けている。クラス３以上に生物兵器として使用可能なものが含まれている。クラス１と２は省略。クラス４とクラス５は危険度による違いで分けられたのでない。クラス４は我が国の感染症法の１類感染症に相当するもので、クラス５は合衆国にはない動物に感染する病原体で、特別の施設を除いて輸入が禁止されているものである。スタンフォード大学ではクラス４とクラス５の実験は許可されない。

クラス３

呼吸器感染すれば重篤な疾患や致死的な疾患を起こす可能性がある。合衆国に外から持ち込むには連邦政府の許可が必要である。封じこめのためにはバイオセーフティーレベル３の技術と施設が必要である。

クラス４

実験者にとって極度に危険であり、重大な感染を起こすので、最も厳重な封じ込めが必要である。クラス３病原体で合衆国外から持ち込まれ、昆虫学的な研究を行う場合には同じ実験室区画で行わなければならない。

クラス５

動物に感染する外国の病原体で移入が制限されたもの。ワクチンを除く。

クラス 3 病原体

細菌

Bartonella（全ての種） バルトネラ属

Brucella（全ての種） ブルセラ族

Francisella tularensis　野兎病菌

Mycobacterium bovis, M. tuberculosis　ウシ型結核菌、結核菌

Pasteurella multocide type B

Pseudomonas mallei　鼻疽菌

Pseudomonas pseudomallei　類鼻疽菌

Yersinia pestis　ペスト菌

真菌

Coccidioides immitis

Histoplasma capsulatum

Histoplasma capsulatum var.duboisii

ウイルス、リケッチア、クラミジア

Monkey pox, サル痘（試験管内で使用する場合）

Arboviruses アーボウイルス(クラス２以外のすべて)

Arboviruses Dengue virus,デングウイルス

Lymphocytic choriomeningitis virus (LCM)　リンパ性脈絡髄膜炎

Rabies street virus　狂犬病　野生株

Rickettsia（例外を除いてすべての種を含む))

Yellow fever virus（野生株）

クラス４ 病原体

ウイルス、リケッチア、クラミジア

Ebola fever virus　エボラ出血熱ウイルス

Monkey pox,　サル痘（感染実験、動物接種を行う場合）

出血熱病原体,（クリミア・コンゴ出血熱、フニンウイルス、マチュポウイルス、 および未同定のものを含む）

Herpesvirus simiae（サル B ウイルス）

Lassa virus　ラッサ熱ウイルス

Marburg virus　マールブルグウイルス

Tick-borne encephalitis virus complex　ダニ媒介脳炎ウイルス群（ロシア春夏脳炎ウイルス，キサヌール森林病ウイルス、オムスク出血熱ウイルス、

中央ヨーロッパ脳炎ウイルスを含む）

Venezuelan equine encephalitis virus　ベネズエラウマ脳炎ウイルス（流行株，感染実験、動物接種を行う場合）Yellow fever virus　黄熱病ウイルス（野生株、感染実験、動物接種を行う場合）

クラス５ 病原体

合衆国の法律で移入が禁止された動物に感染する病原体およびベクター

Foot and Mouth disease virusB　口蹄疫ウイルス

African horse sickness virus　アフリカ馬疫ウイルス

African Swine fever virus　アフリカブタ熱ウイルス

Besnoitia besnoiti

Borna disease virus　ボルナ病ウイルス

Bovine infectious petechial fever

Camel pox virus　ラクダ痘ウイルス

Ephemeral fever virus

Fowl plague virus　ニワトリペストウイルス

Goat pox virus　ヤギ痘ウイルス

Hog cholera virus　豚コレラウイルス

Louping ill virus　跳躍病ウイルス

Lumpy skin disease virus　ランピースキン病ウイルス

Mycoplasma mycoides (contagious bovine pleuropneumonia)

Mycoplasma agalactiae (contagious agalactia of sheep)

Nairobi sheep disease virus　ナイロビヒツジ病ウイルス

Newcastle disease virus (Asiatic strains)　ニューキャッスル病ウイルス（アジア株）

Rhinderpest virus　牛疫ウイルス

Ricksettia ruminatium (heart water)

Rift valley fever virus　リフト渓谷熱ウイルス

Sheep pox virus　ヒツジ痘ウイルス

Swine vesicular disease virus　ブタ水疱病ウイルス

Teschen disease virus

Theileria parva (East Coast Fever)

Theileria annulata

Theileria lawrencei

Theileria bovis

Theileria hirci

Trypanosoma vivax (Nagana)

Trypanosoma evansi

Vesicular exanthema virus

Wesselsbron disease virus

Zyonema

特別の施設を除いて合衆国内で研究が許されない病原体

Alastrim　軽症型天然痘

Small pox　天然痘

White pox　白痘

以上述べたように、病原体の危険度に関する分類にはいろいろ考え方があり、大筋では一致している。しかし現在までのところ統一した見解はないが、病原体に関しての粗筋は理解できたかと思われる。しかし実際に規制を行っていく上ではいろいろな問題が指摘されるかも知れない。これらに関しては以下の項目で述べることとする。

２　主な生物剤の特性と危険度

生物兵器の候補となり得る病原体は約 60 種類考えられているが､種々の条件を考えると、例えば病原性は強くても安定性が悪いとか、生産が容易でないとか、実際問題として使用しにくいものもある。ここでは,そのすべてについて述べることはできないので、米国で重点的に考えられている病原体およびその他の危険と思われる病原体について記載する。

化学兵器と異なる細菌兵器の特徴として、使用された場合、効果が出現するまでに潜伏期があり、数日から数週間かかる事がある。また患者の発生が通常の流行か人為的なものかは始めは区別出来ない事も多いと思われる。速やかな対応のために、この期間をできるだけ短縮しなければならない。そのためには病原体に対する知識と見地や診断のシステムを構築することが大切である。

病原体には細菌、ウイルス、毒素がある。その特性は下記のごとくである。

（１）ウイルス

ウィルスは微生物の中で、最も小さく単純なものである。核酸（ＤＮＡまたはＲＮＡ＝ウィルスゲノムとして機能する）とこれを包む蛋白質とからのみ成り（さらにエンベロープと呼ばれる膜を有しているものもある)、大きさは 0.02～0.2μｍである。細胞に寄生することによってのみ増殖できる（偏性細胞内寄生体)。しかも個々のウイルスにはそれぞれに特定の細胞が必要である。ウイルス特異的細胞を培養し、ウイルスを感染させる。孵化鶏卵の漿尿膜で増殖させる方法もよく使われる。ウイルスの培養には費用と時間と手間が要求される。ここでは主に生物兵器として使用される可能性の高いものについてのみ述べるが、病原性のないもの、動物にだけ病原性のあるもの、植物にのみ病原性のあるものもある。動物に病原性のあるものの中には畜産上重要なものがあり、植物に病原性のあるものの中には農業にとって重要なものも多い。

ヒトに病原性のあるウィルスは 20 の科に分けられ､大きさも構造もかなり異なっている。細菌との間には大きな差があり、生物と無生物の中間に位置するものと考えられたこともあるし、むしろ無生物であるとの説もあった。ウィルスは細菌と異なり、増殖するためには必ず生きた細胞を必要とする。ウィルスを取り扱うということは、ウィルスを感染させる細胞、動物を取り扱うということでもある。感染防止における注意は全く細菌と同じである。ただ細菌には薬剤による治療が可能なものが多いが、ウィルスに対する有効な治療薬は殆どかった。近年抗ウイルス剤開発の技術の進歩が著しく、ヒト免疫不全ウイルス、ヘルペスウイルス、サイトメガロウイルス、Ｂ型肝炎ウイルス、Ｃ型肝炎ウイルス、インフルエンザウイルス、ＲＳウイルスに対する薬剤が市販され、さらに 30 のウイルスの薬剤

が開発中である。ただ一般的には、感染防止に有効なワクチンはウィルスの方がずっと多い。ウィルスを取り扱う前にそのウィルスに対するワクチン（もしあればであるが）を受けておくとよい。細菌の場合と同様にウイルスにも薬剤耐性のものが出現する可能性があることも考慮に入れておかねばならない。

（２）細菌

細菌は微生物と呼ばれるものの中の一つであり、単細胞生物である。形や大きさは種々に異なり、直径0.5～1.0μｍの円形のもの（球菌）と1～5μｍの棒状をしたもの（桿菌）とがある。桿菌が連なれば50μｍをこえることもある。細菌の形は硬い細胞壁で決定される。細菌の内容は生命を維持するのに必要な核物質（ＤＮＡ）、細胞質、細胞膜からなる。多くの細菌は外膜に糖蛋白質をもち、細胞表面受容体に細菌が付着するのを助けている。ある種の菌は特殊な環境では芽胞に変換することができる。芽胞は、栄養型の場合より熱、乾燥、消毒薬、放射線の抵抗性である。芽胞は植物の種のように細菌の睡眠型であり、条件が好都合になれば発芽することができる。

リケッチアは（小さな 0.2～1.0μｍ）グラム陰性球菌様微生物で、リケッチア、コクシエラ、ロシャメリア、エールリッヒア等の属に分けられる。リケッチアは他の細菌と異なって生きた宿主細胞がなければ増殖できない（例外があり、ロシャメリアは無細胞培地で増殖できる）ことが特徴であるが、抗生物質の治療には感受性である。

細菌はヒトや動物に病気を起こすのは、次の２つの機構による。１　宿主の組織に侵入する　２　毒素を産生することである。多くの細菌はこれらの機構のいずれの利用している。特異的抗生物質の治療に反応することが多い。

（３）毒素

ここで毒素というのは天然物とされる有機化合物で、植物毒、動物毒、微生物によって産生されるものに分け、特に微生物によるものを中心に述べる。微生物によって産生されるものは、細菌によって産生される毒素と眞菌によって産生される毒素（マイコトイシン）とがある。これらの毒素は食中毒の場合、或いはジフテリアやコレラ菌の感染の場合に大きな役割を演じ、比較的身近なものである。毒素の研究のために毒素を大量に得るためには、先ず産生菌或いは産生眞菌（かび）を増やす必要がある。　細菌や眞菌を増殖させ、これを出発材料とし、毒素の濃縮、精製を行い分析する場合、物理化学的、生化学的手法が用いられる。生物学的活性すなわち毒性の試験のためには培養細胞や動物を用いる。 微生物由来の毒素は、急性中毒、慢性中毒を起すが、発癌性が問題になることも少なくない。中毒症の治療でトキソイドによるものは予防的に用いられ、抗毒素は緊急の場合の治療に

用いられる。

（４）特に危険と思われる病原体名とそれに起因する病名

細菌

病原体	病名
炭疽菌	炭疽　anthrax
ブルセラ属	ブルセラ症　brucellosis
マルタ熱菌（メリテンシス菌）	
ウシ流産菌(バング菌)	
ブタ流産菌	
鼻疽菌	鼻疽
類鼻疽菌	類鼻疽
ペスト菌	ペスト
野兎病菌	野兎病
Q熱リケッチア	Q熱

ウイルス

痘瘡ウイルス（天然痘ウイルス）	痘瘡（天然痘）
ベネズラ馬脳炎ウイルス	ベネズラ馬脳炎（ＶＥＥ）
出血熱ウイルス	
４つのウイルス科のＲＮＡウイルスを含む	
①アレーナウイルス科	
フニンウイルス	アルゼンチン出血熱（ＡＨＦ）
マチュポウイルス	ボリビア出血熱
グアナリトウイルス	ブラジル出血熱
サビアウイルス	ベネズラ出血熱
②ブニアウイルス科	
クリミア - コンゴ出血熱ウイルス	クリミア - コンゴ出血熱
リフトバレー熱ウイルス	リフトバレー熱
ハンターンウイルス	腎症候性出血熱（韓国出血熱）
ハンタウイルス	ハンタウイルス肺症候群

③フィロウイルス科

エボラウイルス	エボラ出血熱
マールブルグウイルス	マールブルグ病

④フラビウイルス科

黄熱病ウイルス	黄熱
キンサシャ森林病ウイルス	キンサシャ森林病
オムスク出血熱ウイルス	オムスク出血熱

生物毒素

ボツリヌス毒素

リシン

ブドウ球菌腸毒素Ｂ

Ｔ−２カビ毒素

（ａ）炭疽菌

概説

炭疽菌はグラム陽性有芽胞桿菌である。炭疽は牛、羊、山羊、馬等の家畜の病気であるが、野生動物にも発生することがある。人は菌で汚染された毛、毛皮、革、肉、血液、分泌液から感染する。感染は擦り傷、掻き傷、傷口、芽胞の吸入、不完全な調理の肉の摂取で起こる。生物兵器としては芽胞のエアロゾル散布による吸入が問題となる。米国では１９５０―１９６０年代に生物兵器としての研究が行われた。特に旧ソ連邦では大規模な開発が行われ、大規模な事故を起こしている。スヴェルドロフスク生物兵器施設、１９区炭素乾燥プラントからの菌の飛散事故である。ソ連政府の公式発表では、９６人が発病、６６人死亡であるが、被害はもっと大きいと思われている。いずれにしても、これは２０世紀最悪の肺炭疽の発生であることは確かである。すべての人は菌に感受性である。芽胞は極めて安定で何年にもわたって土壌や水中で感染性を保つ。

症状

炭疽は人では皮膚炭疽、肺炭疽、腸炭疽の３つのかなり異なった症状を示す。皮膚炭疽（悪性膿疱ともいわれる。抗生物質がなかった時代には治癒しにくかったのであろう）は家畜を取り扱う人の手や前腕にしばしば見られた。丘疹で始まり、水泡を形成する。典型的な水泡は乾燥して黒色の痂皮となる。炭疽はギリシャ語で石炭という意味である。局所

感染から致死的な全身感染をきたすこともある。腸炭疽は感染獣の著得る不十分な肉を摂取して起こる。肺（吸入）炭疽は通常はまれにしか見られない。皮革、羊毛、毛皮を取り扱う工場の従業員に発生する。治療しなければ、皮膚炭疽の死亡率は２５％まで、肺炭疽と腸炭疽は死亡率１００％である。

予防

炭疽菌は芽胞を形成するため、熱、乾燥、消毒薬に対する抵抗性が強く、培養も容易であるため、細菌兵器として有効であるとして、米国、英国、ソ連で研究されており、現在でもイラクは生物兵器としての炭疽菌を所有していると見なされている（イラクはその他にボツリヌス毒素、アフラトキシン、リシン等を保有している)。

炭疽は主たる感染部位によって皮膚炭疽、肺炭疽、腸炭疽があり、皮膚炭疽は皮膚の感染であり、肺炭疽は呼吸器感染で起こり、腸炭疽は経口感染で起こる。肺炭疽は症状が激烈であり致死率が高く、細菌兵器としての有用性もこの感染にあり、感染方法も空中散布が選択されるのが普通である。２００１年９月１１日の同時多発テロに続発した炭疽菌郵送事件のようにテロとして炭疽菌の散布に手紙を利用するのは新局面である。但し数年前から米国では何らかの粉末を手紙に入れて送りつけたが、菌は検出できなかったというのが何例かあったようである。実際に菌が検出されたのは今回が始めてである。例え菌が入っていなくても、菌がいるとの前提で取り扱わねばならず、対応する側としては大変である。

日本ではヒト用のワクチンは生産されていない。動物用が少量生産されているだけである。米国のワクチンは菌の培養上清を滅菌したもので、生菌も死菌も含まれていない。0.5ml を皮下に 0（一回目の接種)、2、4、6 週、12、18 月と 6 回接種する。以後年に 1 回投与する。ヒトでは皮膚炭疽には有効であるが、肺炭疽では十分なデーターがない。サルでは 2 回の接種で 2 年間有効であった。スケジュール通りにきちんと接種する事が大切である。極度に大量の菌の感染は防止できない。

英国では応用微生物学センターおよび研究所（ＣＡＭＲ）で作成されたワクチンで、病原性のない炭疽菌の株からつくられた無菌の産物である。炭疽菌を含んでいないので、ワクチンから炭疽菌を得ることはできない。

免疫スケジュールは上腕に４回接種で、第一回目の接種後３週間後に、二回目の接種、さらに３週間後に三回目の接種、最後の接種を６ケ月後に行う。以後免疫を維持するため、毎年１回接種する。ワクチンは安全で効果的であることが確かめられていて、１９６３年以来炭疽の危険を防護するために日常的に使用され、１９７９年英国で認可された。実験

従事者、外科獣医、公設屠殺場作業員、軍人等の、数千人の人たちが、高レベルの炭疽免疫による防護の利益を安全に受けてきた。

ＣＡＭＲは英国国防省（ＭＯＤ）の化学および生物兵器防御局と異なった組織であり、健康に関わるバイオハザードの研究を行い、診断薬、予防薬、治療薬の開発と製造を行う。また英国が生物兵器の脅威から軍隊を防御する能力を保持するために、将来に渡ってワクチンを製造し続け、一般国民にも必要に応じて供給する。

ワクチンの製造バッチはＣＡＭＲで安全性と有効性が試験され、国立生物学的基準および制御研究所（ＮＩＢＳＣ）によって提示される。

抗生物質

炭疽菌に暴露されたときは抗生物質の予防投与を行う。シプロフロキサシンが推奨されている。ドキシサイクリンやアモキシリンも使われる。炭疽菌暴露が確実であれば、少なくともワクチン接種者で 4 週間、接種を受けてなければ 6 週間投与する。むやみな投与は耐性菌の蔓延をまねくので慎重に行うべきである

診断

肺炭疽の発病初期は風邪様の症状で、予備知識がなければ見落とされる可能性が高い。しかし致死率を下げるには、産生された毒素が標的細胞に到る前に、治療はできるだけ早期に始めなければならないので、早期診断は大切である。グラム陽性桿菌の検出は重要な指標であるが、喀痰中に検出できないことも多い。できればギムザ染色、芽胞染色を行う。判定が困難であれば分子生物学的、免疫学的診断を行う。

１～６日の潜伏期の後に（おそらく吸入した炭疽菌の量と株に依存して。１９７９年のソ連の事故では、エアロゾル放出後、6 週間で発症した例もある）、肺炭疽を徐々に発症し、症状は非特異的である。発熱、倦怠、疲労感があり、症状はしばしば短期間（数時間から２～３日）良くなったように見える事があるが、次いで、発汗、喘鳴、チアノーゼを伴う重篤な呼吸困難が突然始まる。呼吸困難が始まってから、２４～３６時間以内に菌血症、ショック、死が起こる。症状は一般に特異的ではなく、特に病気の始めでは特別のものはない。胸部 X 線像では、縦隔の拡大、肺滲出液貯留が後期には 55%に見られるが、肺浸潤はない。肺炎は起こらないので、喀痰中には菌は普通見つからない。炭疽菌は血液や血液培養のグラム染色で検出できるが、後期まで検出できないこともある。50%に出血性髄膜炎が見られ、菌が脳脊髄液中に検出できる。感染中には莢膜をもった増殖中の菌のみが検出される。芽胞は空気に曝されなければ、生体中に検出されない。非ヒト霊長類での実験では、菌と毒素は暴露後２日の終りから３日の始めに血中に検出される。毒素の産生は菌

の血中への出現と一致する。毒素の急速な検出法がある。炭疽の発症と同時に白血球数は増加し、死に到るまで高いレベルが続く。

治療

前にのべたごとく炭疽菌はヒトからヒトへの感染は起こらないので、特別の病棟、病室に収容する必要はない。しかしながら、感染症の専門的な対応が必要な場合に備えて、特定感染症指定医療機関、第1種及び第2種感染症指定医療機関、国立病院・療養所呼吸器疾患ネットワーク機関、国立病院災害医療ネットワーク機関等を利用するのが望ましい。

殆ど全ての肺炭疽は症状が重くなってから治療を開始すると、どのような治療を行っても、手後れであり救命できない。できるだけ初期から、抗生物質の投与を始めなければならない。診断が急がれる所以である。ペニシリン 200 万単位、2 時間おきに静脈注射が第一選択である。ペニシリンアレルギーの人にはテトラサイクリンやエリスロマイシンを使用する。大部分の自然界の炭疽菌は試験管内でペニシリン感受性であるが、抵抗性株や多剤耐性菌も存在する。調べられた、全ての野外株は,エリスロマイシン、クロラムフェニコール、ゲンタマイシン、シプロフロキサシンに感受性であった。感受性データーがない時は、感染初期に試験的に抗生物質を静脈注射する。米軍では初期治療としてシプロフロキサシン 400mg、12 時間間隔の静脈注射かドキシサイクリン 200mg 静脈注射、以後 100mg を 12 時間間隔静脈注射を推奨している。感受性データーが得られたらペニシリン 400 万単位静脈注射、4 時間間隔でもよい。一般でも初期治療としてシプロフロキサシンを使い、感受性データーが得られたら、ペニシリン G かドキシサイクリンを用いている。投与は 60 日間行い症状が改善すれば経口投与に切り替える。ショックや体液量不足に対する治療や気道の確保が必要である。

患者の看護は一般的なものでよい。肺炭疽のヒトからヒトへの直接の感染の証拠は得られていない。手術や解剖に用いた器具や場所は芽胞を殺す消毒薬で十分に消毒しなければならない。ヨード剤が使用できるが、ヨードフォアは通常殺芽胞性ではない。塩素剤は有効であるが、次亜塩素酸は有機物があれば、著しく効果が減少するので注意しなければならない。

炭疽菌の産生する毒素には(１)浮腫因子(edema factor； EF)(２)防御抗原(protective antigen； PA)（３）致死因子（lethal factor； LE）があり、これらの毒素は標的細胞の受容体に結合してその作用を発揮する。毒素と受容体との結合を阻害する薬剤が 1 年以内に開発されることが期待されている。

（ｂ）ブルセラ属

概説

ブルセラ症は世界で極めて重要な家畜の疾患である。ブルセラ属の６つの種の菌で起こる。動物では先ず生殖器系に感染し流産をきたし、睾丸炎を起こし不妊となる。結果として家畜業界に経済的打撃を与える。ウシ流産菌（バング菌)、ヤギ流産菌、ブタ流産菌まれにイヌ流産菌の４種が人に病原性を示す。ブルセラ菌はエアロゾルで強い感染性を示し、１０～１００個の菌の吸入で人を発症させるのに十分である。死亡率は低く未治療でも５％である。死亡例は心内膜炎、髄膜炎によるものである。潜伏期は比較的長く、５～６０日であり。自然感染では不顕性感染も多い。生物兵器としての有用性は高くないが、大量のエアロゾルは潜伏期を短縮し、発症率を上げ、経過を長引かせると思われる。

現在米国では希な疾患で発生率は年間１０万人あたり０．５人であるが､南西アジアでは１２８人である。この地に駐屯する軍人には問題となる。

症状

ブルセラ症は波状熱ともいわれ、インフルエンザに似た熱性疾患である。発熱、頭痛、筋肉痛、関節痛、背筋痛、発汗、悪寒、倦怠感が一般的な主訴である。咳と胸部痛が２０％に見られるが、急性肺炎はまれである。胸部症状はＸ線所見と相関しない。胸部Ｘ線なしばしば正常で、単一か粟粒状の結節、気管支肺炎、肺門リンパ腺腫大、胸水を認めることがある。胃腸症状（食欲不振、悪心、嘔吐、下痢、便秘）が成人で７０％に見られるが、小児では少ない。肝脾臓肥大を伴う小腸炎、大腸炎、顆粒球および単核球浸潤性肝炎が４５～６３％に見られる。

腰痛は６０％に見られ、時に長骨の骨血管感染がある。脊椎骨髄炎、椎間円板感染、傍脊椎膿瘍､座骨腸骨感染がまれにみられる。関節症状は痛みだけから､動かなくなったり、液が溜ったりする。座骨腸骨関節が冒されることが多いが、末梢の関節（臀、膝，踵）の関節もまれに冒される。髄膜炎が合併することもたまにあり、脳炎もまれに見られる。高熱のため、行動障碍、神経症状がでることは、未知の神経毒があるのではという疑問を起こさせる。

予防

生ワクチンが動物に広く用いられ、米国での家畜のブルセラ症は殆ど消失した。認可されたヒトのブルセラ症ワクチンはない。

通常の流行の場合は予防投薬の必要はない。家畜の取扱いの際の針刺し事故、実験室での事故、生物兵器に暴露した時は、ドキシサイクリン 200mg／日+リファンピン 600mg／日

の経口投与を行う。

診断

ブルセラ症の大部分は非特異的熱性疾患で、診断の基礎となる特徴はなく、見逃される事がある。ブルセラ症の診断を確実にするには、疑いを持つ事が大切である。動物接触、未滅菌牛乳やヤギミルク産物の摂取や、それが日常である場所への旅行歴でブルセラ症を疑う。患者の白血球数は通常正常で低下している事もある。貧血や血小板減少症も起こる。血液と骨髄の培養からの菌の検出はそれぞれ１５～７０％と９２％である。カスタネダビンを用いた二相培養法で血液からの検出率を高める。ブルセラ症が疑われたら臨床検査室は十分に注意し、適切な分離培地を用意して、ＢＳＬ-3（バイオセーフティーレベル - 3）で行う。血清凝集反応ではＩｇＭとＩgG抗体を検出できる。1：160 以上は感染を示している。ＥＬＩＳＡやＰＣＲ法は広く使われるようになってきた。

治療

一般的にはヒトからヒトへの感染はないので一般的な注意でよい。検査室ではブルセラの疑いのある材料を培養する際には、吸入する危険があるので、ＢＳＬ（バイオセーフティーレベル）3 で行わなければならない。

ブルセラ症の大部分は抗生物質の経口投与で十分である。例外として、心内膜炎のための弁置換のように、外科手術が必要な場合もある。一般にドキシサイクリン 200mg／日、経口とリファンピン 600mg／日、経口の併用療法が行われる。両剤とも 6 週間は投与すべきである。ドキシサイクリン 200mg／日、経口、6 週間とストレプトマイシン 1g／日、筋注、2 週間の混合投与も行われる。ドキシサイクリン+ゲンタミシン、ＴＭＸ／ＳＭＸ+ゲンタミシン、オフロキサシン+リファンピンも有効である事が確かめられている。脳膜炎、脳炎、心内膜炎の患者にはリファンピン、テトラサイクリン、アミノグリコシドの３剤併用長期治療が推奨されている。

（ｃ）鼻疽菌と類鼻疽菌

概要

鼻疽菌と類鼻疽菌の起因菌はそれぞれ Burkholderia mallei と Burkholderia pseudomallei である。グラム陰性菌で、顕微鏡下で安全ピン状をしている。いずれも家畜や野生動物を侵すが、人には吸入で、あるいは傷口から感染する。

Burkholderia mallei はウマ、ラバ、ロバの感染症として知られている。急性型と慢性型がある。人の感染は主に獣医、ウマ，ロバの飼育者、屠殺場従業員に起こる。

Burkholderia pseudomallei は熱帯、亜熱帯に広く分布している。東南アジアや北オーストラリアで流行が見られる。人では症状のほとんどないものから、開始から２４～４８時間で死亡率９０％の菌血症まである。初感染から数年して再発し、慢性化して命に関わることがある。

人には鼻腔、口腔、結膜からの侵入、吸入による肺感染、擦り傷や切り傷から感染する。培養液のエアロゾルは実験従事者に高度に感染性である。実験室での取り扱いにはレベル３封じ込めが必要である。いずれの菌も強力な生物兵器とみなされている。

症状

鼻疽も類鼻疽も急性の局所型、急性肺感染、致死的急性激症菌血症がある。類鼻疽では感染後１０年以上無症状で過ごし、免疫力の低下した時発症することがある。

エアロゾルを吸入した場合、潜伏期は１０～１４日、発熱、硬直、発汗、筋肉痛、胸膜炎性胸痛、肉芽性または壊死性部位、全身の発赤、黄疸、流涙、下痢を伴う菌血症となる。

鼻腔、口腔、結膜からの急性感染では、粘稠な血性鼻汁があり、鼻中隔，鼻甲介の結節、潰瘍を伴う。全身感染に移行すると、丘疹、膿疹がでて天然痘と誤ることがある。さらに肝臓や脾臓等の内臓に膿瘍ができ、肺にも多数の病変が見られる。この段階になると、死亡率は高く、患者は急速に進行性の菌血性ショックに陥る。

慢性型では手足の皮膚、筋肉内の膿瘍が特徴である。病変部位の局所リンパ腺の腫脹、硬結がある。慢性型は特に類鼻疽で無症状のことが多い。骨髄炎、脳膿瘍、髄膜炎を発生することがある。

予防

ヒトに使用できるワクチンはない。暴露後の予防服用にはトリメトプリム（ＴＭＰ）-サルファメトキサゾール（ＳＭＸ）がよいと思われる。

診断

局所の滲出液のグラム染色で小型のグラム陰性菌が検出できる。菌は通常の培地で培養、同定できる。１～５％グルコース、５％グリセリンやウシ肉抽出液を加えた寒天培地で菌の増殖は促進される。一次分離には 37.5℃で 48 時間かかる。マレイ菌では、凝集反応は７～１０日で上昇するが、正常血清のバックグランドが高いことがあり判定が難しいことがある。補体結合試験はもっと特異性が高く、1：20 かそれ以上であれば陽性と考える。シュードマレイ菌では、４倍の上昇で類鼻祖を診断できる。1：160 以上の値と対応する症状があれば、感染を示している。動物との接触のない発生の流行では生物兵器攻撃を想定

する。抗生物質を使用しても死亡率は高い。ハムスターでは１～１０コの菌の投与は致死的である。

治療

疑わしい患者や明らかな患者ではヒト - ヒト感染を防止する注意を払わねばならない。臨床症状や、重症度に応じて治療法は変えなければならない。症状が局所的であれば、アミノキシリン／クラブラネイト60mg／kg／日､3回分包､テトラサイクリン40mg／kg／日、3回分包、トリメトプリン（ＴＭＰ）4mg／kg／日 - サルファ 20mg／kg／日、2回分包の経口投与が行われる。治療は６０～１５０日間行わなければならない。

局所症状に軽度の中毒症状があれば、30 日間の 2 剤併用療法を行なった後に、更に上記の治療を６０～１５０日間行う。肺外に化膿性の症状があれば、治療は 6～12 ケ月続けなければならない。膿瘍の外科的排膿が必要な事もある。

重症例では、セフタジヂン 120mg／kg／日、3 回分包+ＴＭＰ／サルファ（ＴＭＰ8mg／kg／日 - サルファ 40mg／kg／日、4 回分包）の併用療法を 2 週間行った後に、経口投与を 6 ケ月間行う。

ドキシサイクリン、リファンピン、シプロフロキサシン等の抗生物質もハムスターの実験感染で有効であった。ヒトの感染例が少ないため、大部分の抗生物質の治療効果の評価が困難であり、抗生物質感受性は動物や試験管内で調べられている。種々の分離株は著しく異なった抗生物質感受性を有しており、各分離株は各自抗生物質感受性を調べなければならない。

（ｄ）ペスト菌

概要

ペスト菌は非運動性、無芽胞、グラム陰性桿菌で腸内細菌科に属している。ネズミ、マウス、ジリス等のげっ歯類の人獣共通感染症である。ノミが菌をヒトに伝播し、腺ペストを起こさせる。腺ペストは菌血症や肺ペストへと進行する。意図的にエアロゾルを散布すれば、ほとんどが肺ペストとなる。全てのヒトは感受性であるが、回復すると一時的に免疫となる。菌は水中、湿った土壌、穀物中で数週間は生存する。凍結温度近くでは数カ月から数年は生存するが、５５℃では１５分で死滅する。

米国と旧ソ連は菌のエアロゾル化に信頼性のある効果的な方法を開発した。１９９５年にオハイオでラリー・ウエイン・ハリスが不法にペスト菌を入手しようとしたとして逮捕された。テロリストのペストに対する能力に注目を集めた事件である。肺ペストの

伝染性は生物兵器として特に危険である。

症状

ペストには、腺ペスト、肺ペスト、菌血症の３つの型がある。腺ペストは潜伏期２～１０日で、急性の、激しい非特異的な症状で始まる。高熱、倦怠感、頭痛があり、時に悪心、嘔吐を伴う。半数の患者に腹痛がある。非特異的症状直後から感染リンパ節の腫脹があり、激しい痛みと伴う。成人では足が最もよくノミに咬まれる部位であるため、大腿や鼠蹊部リンパ腺が通常冒される。肝臓や脾臓は柔らかく触診可能である。２５％の患者に皮膚病変が見られる（膿疹、水泡、紅疹、丘疹)。二次的に菌は血中にでるが（８０％に血液培養で菌陽性)、菌血症の症状がでるのは２５％である。

菌血症は他のグラム陰性菌のものと同じであるが、壊死、壊疽、ＤＩＣ(播種性血管内凝固症候群)を伴う末梢血管の栓塞を起こす。しばしばエンドトキシン血症による黒い壊死部や紫青色の病変が見られる。菌は中枢神経、肺に達し、ペスト脳膜炎が菌血症と肺ペストの約６％に見られる。

肺ペストには吸入による肺感染（一次肺ペスト）と菌血症から肺への伝播（二次肺ペスト）がある。一次肺ペストの潜伏期は１～６日（通常２～４日、吸入量による）で、急性で急激に始まり、高熱、悪寒、頭痛、倦怠感、筋肉痛があり、２４時間以内に血性喀痰を伴う咳が始まる。血性喀痰は特徴的であるが、水様であったりまれに膿性であることもある。悪心、嘔吐、下痢、腹痛の胃腸症状があることもある。まれに頚部リンパ腺腫脹がある。胸部Ｘ線は種々で、多いのは両側性の浸潤である。肺炎は急速に進行し呼吸困難、喘鳴、チアノーゼをきたす。呼吸不全や循環虚脱で死亡する。

未治療の腺ペストの死亡率は約６０％であるが、早急で効果的な治療で５％以下に低下する。未治療の肺ペストの死亡率はほとんど１００％で、治療が発症後１８時間を越えると生存は難しい。米国で過去５０年に７人の肺ペスト患者の４人が死亡した(５７％)。１９８９年のマダガスカルの流行では、呼吸器が冒されると死亡率は５７％で腺ペストでは１５％であった。

予防

現在はペストの予防にワクチンは使われていない。１９４６年から１９９８年まで米国では死菌ワクチンが利用できた。腺ペストの予防には有効であるが、エアゾール化したペスト菌には無効であった。Ｆ1 - Ｖ抗原（融合蛋白質）ワクチンが開発されている。このワクチンを接種されたマウスはペスト菌の吸入感染に１年間抵抗性であった。現在霊長類で試験されている。

肺ペストの患者に 2 メートル以内で直面した接触者や生物兵器のペスト菌のエアゾールに暴露したと思われる人は 7 日間抗生物質の予防投与を受けるべきである。これらの人たちに発熱や咳があれば（この時点ではまだ風邪と区別がつかない）直ちに抗生物質治療を始めなければならない。予防のための薬剤の第一選択はドキシサイクリン 100mg、1 日に 2 回の経口投与である。シプロフロキサシンは炭疽菌に対しても暴露後の予防に使われるので、戦時にはシプロフロキサシン 500mg、1 日に 2 回の経口投与も行われると思われる。テトラサイクリン 250mg、1 日 4 回、経口投与やクロラムフェニコール 25mg／kg、1 日 4 回の経口投与でもよい。腺ペスト患者と接触した場合は観察だけでよい。症状がでれば治療を開始する。

診断

診断は基本的に臨床症状の疑いによる。健常なヒトに急速に進行する喀血を伴う肺炎の突然の大量発生は強くペストを疑わせる。リンパ腺穿刺液、喀痰、血液、脳脊髄液の塗沫標本のグラム、ライト、ギムザ、ウエイソン染色の検鏡で球状の菌があれば、強い疑いをもつ。免疫蛍光法は極めて有用である。確定的な診断は上記試料の培養である。菌の増殖は通常の方法では遅く、自動化されたシステムでは過って判定されることがある。血液寒天、マッコンキー培地が主に使用される。最もしばしば自然流行する株は生体内で F1 抗原を産生するので、血清中に Ｆ1 抗体を免疫測定で検出できる。抗体価で 4 倍の上昇は診断的価値がある。ＰＣＲ（ポリメラーゼ連鎖反応）は非常に感受性と特異性の高い技法で 1ml 中の 10 コの菌体を検出できる。大部分の臨床検査はＢＳＬ－2 で行う事ができるが、エアゾール発生する操作や大量の菌を産生する場合はＢＳＬ－3 を必要とする。

治療

腺ペスト患者は通常の取扱いでよい。肺ペストの疑いがある場合には、厳重な隔離が必要である。隔離は少なくとも 48 時間抗生物質治療を行うか、喀痰の培養で菌が陰性と確認できる迄行い、飛沫感染を防止する。ベクター（蚤）や保菌動物（げっし類）がいれば、再感染を防ぐ手段を採らなければならない。殺蚤剤の使用、げっ歯類駆除を行う。患者隔離領域への蚤の侵入を防ぐ障壁を設ける。

ストレプトマイシン、ゲンタミシン、ドキシサイクリン、クロラムフェニコールが早期に使用すれば非常に有効である。治療が、症状が出現してから 24 時間以内に開始されなければ、ペスト肺炎は殆ど致死的である。ストレプトマイシン 30mg／kg／日、筋注 2 回、ゲンタミシン 5mg／kg／日、筋注または静注、1 回、または 2mg／kg を投与後、17.5mg／kg の筋注または静注を 8 時間おきに行う。初回ドキシサイクリン 200mg 次いで 100mg を 12

時間おきの投与もある。治療の期間は 10〜14 日である。患者が 3 日後に無熱になったら、その後の投与は再発を防止する。動物実験ではキノロン系の抗生物質であるシプロフロキサシンやオフロキサシンも有効である。シプロフロキサシンの使用量は 400mg、静注 1 日 2 回である。ペスト髄膜炎の治療にはクロラムフェニコール 25mg／kg 静注後、15mg／kg 静注 1 日 4 回を 10〜14 日間行う事が必要である。

通常の支持療法も必要である。軽度のＤＩＣ（播種性血管内血液凝固）が起こるかもしれないが、ヘパリンの投与に伴う重大な出血は稀である。内毒素ショックはよく見られるが、血圧上昇剤が必要なほどではない。リンパ腺の腫脹には局所的な治療は必要なく、全身的抗生物質投与で消退させる。リンパ腺の切開やドレインを入れる事は、接触者への感染の危険がある。腫脹リンパ腺の吸出は診断目的で行い、恐らく症状の軽減にも役立つであろう。

（ｅ）野兎病菌

概要

野兎病菌は好気性、非運動性、グラム陰性球桿菌である。野兎病は人獣共通感染症で、感染動物の組織や体液に接触した皮膚や粘膜を通して感染するか、感染ダニ、シカバエ、蚊に刺されて感染する。まれに汚染埃の吸入、汚染食品や水の摂取で発症することがある。エアロゾルで呼吸器が暴露されると、チフス様野兎病、肺野兎病となる。菌は水中、土壌中、動物死体、皮革で数週間、凍結ウサギ肉で数年生存する。凍結温度で数カ月安定である。熱や消毒薬で容易に殺菌できる。

症状

潜伏期は１―２１日（平均３―５日）で感染量に依存する。発症は急性である。感染経路によって６つの型がある。チフス様野兎病、潰瘍性野兎病、腺野兎病、口食道野兎病、肺野兎病である。ヒトでは吸入や皮内接種すれば、１０―５０個以下の菌で発症するが、経口感染では１０＝↑８↑＝個の菌が必要である。

チフス様野兎病（自然感染の５―１５％）

主にエアロゾルの吸入でおこるが、皮内接種や食物摂取でも起こる。生物兵器としては、エアロゾルとして使用されるので、主にチフス様型になると思われる。発熱、衰弱、体重減少がみられるが、他の病型と異なって、リンパ腺症は示さない。肺炎は重篤で急激である。すべての型で見られるが（潰瘍腺型で３０％）、チフス様型で最もよく見られる（８０％）。呼吸器症状、胸骨下不快感、咳嗽がある。生物兵器使用による死亡率は、適切に治療された自然感染の死亡率１―３％を大きく上回ると思われる。未治療の自然感染チフス様型の

死亡率は約３５％である。

潰瘍リンパ腺野兎病（７５―８５％）

最も多い型で、感染動物の血液、組織液によって皮膚、粘膜から感染する。発熱、悪寒、頭痛、倦怠感、皮膚潰瘍、痛みのある局所リンパ腺症がある。皮膚病変は通常接触した指や手に見られる。

リンパ腺野兎病（５―１０％）

発熱、リンパ腺は柔らかい。潰瘍は見られない。

眼リンパ線野兎病（１―２％）

汚染指手や感染組織液の飛沫やエアロゾルによって結膜から感染したものである。患者は一側性、疼痛性、化膿性結膜炎があり、耳介前リンパ腺と頚部リンパ腺の腫脹を伴う。結膜浮腫、眼窩周囲浮腫、眼瞼結膜の小結節や潰瘍が見られることもある。

口食道野兎病

喉の潰瘍リンパ腺型とみなされる。頚部リンパ腺症を伴う急性、滲出性または膜形成咽頭扁桃腺炎となる。

肺野兎病

治療しなければ激症で高い死亡率を示す重症非定型肺炎である。菌の吸入による一次性のものと、血行性／菌血症性伝播による二次性のものがある。チフス様型の３０―８０％に、潰瘍リンパ腺型の１０―１５％に見られる。

死亡率は未治療潰瘍リンパ腺型で約５％、チフス型で３５％である。一般的には回復すると終生免疫を獲得する。

予防

ア　ワクチン

弱毒生ワクチンが実験室レベルで試験中であり、大きな副作用なしに有意な防御を示した。防御の程度は感染量に依存し、大量の菌の感染は防御できない。暴露前、暴露後の受動免疫（免疫グロブリン投与）は行われていない。

イ　抗生物質

（ア）暴露前予防

炭疽菌やペスト菌と同様にシプロフロキサシンやドキシサイクリンを使用する。

（イ）暴露後予防

生物兵器のエアゾールに暴露された場合、24 時間以内に 2 週間の下記の抗生物質の予防投与を行う。

シプロフロキサシン　500mg　経口　12 時間間隔　2 週間

ドキシサイクリン　　100mg　経口　12 時間間隔　2 週間

テトラサイクリン　　500mg　経口　6 時間間隔　2 週間

自然感染の場合は予防投与の必要はない。

診断

野兎病菌による生物兵器攻撃の野兎病の診断の手がかりは多数の患者が集団で全身疾患や肺炎症状を示す事である。野兎病の症状は重篤ではあるが、非特異的である。鑑別診断はチフス様症状（サルモネラ、リケッチア、マラリヤ）や肺炎症状（ペスト、マイコプラズマ、ぶどう球菌毒素Ｂ）である。

Ｘ線検査では肺炎症状や縦隔リンパ腺症がチフス様症状に伴ってしばしば認められる。一般的に胸部Ｘ線写真で、患者の約 50%に肺炎が見られ、1%以下で肺実質が侵される事なく肺門リンパ腺症を示す。胸水は肺炎患者の 15%に見られる。野兎病肺炎患者に実質性肺炎、気管支胸膜婁、石灰化が報告されている。

検査室診断:　初期の検査には特異的なものはない。末梢血白血球数は 5,000 から 22,000 ／μｌ である。白血球分布は正常であるが、後期にはリンパ球増多がある事がある。赤血球容積率、血色素量、血小板レベルは正常である。乳酸脱水酵素、血清トランスアミラーゼ、アルカリホスファターゼは軽度に上昇している事がよくある。血清クレアチニンキナーゼや尿ミオグロビンレベルの上昇は平滑筋溶解を示している。脳脊髄液は正常であるが、蛋白質、グルコース、赤血球数に異常のある事が報告されている。

血液、潰瘍、結膜分泌液、喀痰、胃腸洗浄液、咽頭滲出液からの菌の分離で診断できる。抗体治療の後でも菌の分離は可能である。普通培地での増殖は遅いが、システインやその他のＳＨ基をもつ物質の入った培地（グルコース・システイン血液寒天やチオグリコレイト培地）では、24～48 時間後に小さい、平滑な乳白色の集落を形成する。野兎病菌の分離は検査室作業員に危険であるから、ＢＳＬ－3 レベルで行うべきである。

診断の大部分は細菌凝集やＥＬＩＳＡを用いて行われる。菌に対する抗体は感染１週以内に出現するが、確実な血清学的診断のレベル（1：160 以上）に達するのは 2 週以後である。ブルセラ、プロテウス、エルシニアと交叉反応があり、抗体は数年にわたって存続するので感染中に凝集価が 4 倍以上上昇した時だけ診断できる。抗体価は感染１週では陰性、2 週で 50～70%の患者が陽性となり、4～8 週で最高となる。

治療

ヒトからヒトへの感染例は知られていないので、隔離や検疫の必要はない。汚染した衣

類、寝床、器具の消毒に注意が必要である。加熱や消毒薬で菌は容易に不活化できる。

抗生物質治療は下記のごとく行う。

ゲンタミシン　３～５mg／kg 静注、毎日　10～14 日

シプロフロキサシン　400mg 静注、12 時間間隔、患者の症状が改善したら、シプロフロキサシン　500mg 経口、12 時間間隔に切り替え、１０～１４日まで続ける。

シプロフロキサシン　750mg 経口、12 時間間隔　１０～１４日

ストレプトマイシン　7.5～10mg 筋注、12 時間間隔　１０～１４日

ストレプトマイシンは歴史的に野兎病の治療薬として使われているが、大規模な生物兵器攻撃の直後には入手が容易でないと思われるので、ゲンタミシンやその他のものを第一選択とする方がよい。強毒ストレプトマイシン抵抗性野兎病菌が 1950 年代に発生し、他の国々に拡がった可能性があるので注意しなければならない。その株はゲンタミシンには感受性である。ゲンタミシンはグラム陰性菌に広く効くので、野兎病が考えられるが疑わしい時に有用である。

テトラサイクリンやクロラムフェニコールも有効な抗生物質であるが、かなり高い率で再発する。

（ｆ）Q熱リケッチア

概要

Q熱は人獣共通感染症でリケッチア（コクシエラ・バーネッティ）で起こる。自然の保菌動物はヒツジ、ウシ、ヤギ、イヌ、ネコ、トリである。特に胎盤組織でよく増殖する。感染動物は発症しないが、多数の菌を胎盤組織や体液、ミルク、尿、糞便に保持している。分娩時に感染動物に暴露することは重要な感染の危険因子である。ヒトにはエアロゾルの吸入で感染する。農家や屠殺従事者が職業的に最も感染の危険が多い。Q熱実験従事者も感染の危険は高い。

リケッチアは熱や乾燥に抵抗性で。エアロゾル経路で高度に感染性である。１個の病原体の吸入で発症すると思われる。それゆえQ熱は不能化生物兵器として用いることができる。

症状

潜伏期は２～１４日（吸入量に依存する。４０日の例もある）。２～１４日続く熱性疾患で、主な症状は発熱、頭痛、疲労感、筋肉痛である。打診、聴診では通常異常は認められないが、胸部Ｘ線で患者の５０％に肺炎が見つかる。そのうちの半数に咳やラッセル音が

ある。Q熱肺炎患者の２５％に胸膜炎性胸部痛がある。胸部X線の異常は、ウイルス肺炎やマイコプラズマ肺炎とよく似た小斑点状の浸潤である。

Q熱患者の３３％に肝炎が見られる。肺症状なしに発熱や肝機能検査異常がある。まれな合併症として慢性肝炎、細菌培養陰性心内膜炎、無菌性髄膜炎、脳炎、骨髄炎がある。心内膜炎発症の患者の大部分は心臓弁異常を有していた者である。

予防

オーストラリアで産生されたフォルマリン不活化全菌体ワクチンが実験的に使用されている。1回接種で自然感染を完全に予防できる。エアゾール暴露では95%予防できる。免疫は5年間は続く。接種部位に強い硬結、無菌性膿瘍形成、壊死が見られる。0.02mgの皮内接種で、免疫を有しているかを試験できる。

暴露後８～１２日でも、テトラサイクリン、500mg 6 時間間隔、またはドキシサイクリン100mg、12時間間隔で５～７日間の投与が有効である。暴露直後の投与は効果がない。

診断

① 鑑別診断： Q熱は発熱と肺炎様の症状なので、ウイルス性疾患と区別し、マイコプラズマ、レジオネラ菌やクラミジアによる肺炎と鑑別しなければならない。もっと急速に進行したQ熱肺炎は野兎病菌やペスト菌による細菌性肺炎と似ている。ある地域内のかなりの数の兵士が1週間から2週間以上にわたって、原因不明の熱性疾患となり、その1／4が肺症状を示したら、治療者はエアゾール化したQ熱リケッチアの攻撃の可能性を考慮すべきである。生物兵器攻撃の可能性考え、臨床症状と疫学像の検討によって診断する。

② 検査室診断： 患者の1／3に白血球増多がある。大部分のQ熱患者はトランスアミナーゼの軽度の上昇がある。喀痰の検査による病原体の同定は難しい。病原体の培養は難しく、検査従事者に感染の危険があるので、病原体の分離は実際的ではない。血清学的診断として、間接蛍光抗体法、ＥＬＩＳＡ法、補体結合反応による抗体の同定を行う。発症後2週間で特異的ＩｇＭが検出可能となる。米陸軍感染症研究所のＥＬＩＳＡ検査キットでは疾患の1週半から2週で、急性Q熱の信頼性のある診断が可能である。最もよく行われるのは補体結合反応であるが、比較的感受性が低く、抗補体活性がある血清では検査できない。

治療

医療従事者は通常の注意を払えばよい。急性Q熱患者はしばしば抗生物質治療無しに治癒する事があるが、Q熱が疑われる時は合併症を軽減する処置を行う必要がある。テトラサイクリン 500mg、６時間おきやドキシサイクリン 100mg12 時間おきで５～７日間の投与

で、病気の期間を短縮し、発熱は治療開始後１～２日で消退する。シプロフロキサシンやその他のキノロン系の抗生物質は試験管内では有効で、テトラサイクリンやドキシサイクリンの使えない患者への使用を考慮する。Q熱性心内膜炎の治療はかなり困難である。テトラサイクリンやドキシサイクリンとトリメトプリン - サルファメトキサゾール（ＴＭＸ - SMX）か、リファンピンの 12 ケ月かそれ以上の投与が成功する場合がある。しかししばしば心臓弁の置換手術が必要となる。

（ｇ）痘瘡（天然痘）

概要

痘瘡は世界中で根絶され、ワクチンはまだ使用できる状態にあるが、痘瘡ウイルスの兵器化は軍事的脅威となっている。これはウイルスのエアロゾル感染性、大量産生の容易性、ワクチン未接種者の増加によるものである。痘瘡の進行した発疹は特徴的であるが、初期段階では水痘と誤ることがある。世界保険機構（WHO）は１９８０年痘瘡の根絶を宣言した。

米国は１９８０年代初めに一般市民のワクチン接種を中止し、１９８９年に軍人への接種を中止した。ウイルス感受性の人口が増加しつつある。

症状

潜伏期は平均１２日（7～１９日）、倦怠感、発熱、悪寒、嘔吐、頭痛、背部痛で急速に始まり、１５％に譫妄が見られる。２～３日後に発疹が現れ、顔面、手、前腕に広がる紅疹が出現する。下肢の丘疹に続いて、翌週には紅疹は体幹部に広がる。病変は急速に膿疱に進行する。病変部は四肢や顔面に多く、末梢性分布は診断に重要である。水痘と異なって、痘瘡の病変部は進行の段階が同調している。感染後８～１４日で膿疱は痂皮を形成し、陥凹した脱色素傷跡を残す。喉、結膜、尿のウイルスは時間とともに減少するが、ウイルスは回復期を通じて痂皮から容易に回収できる。患者は隔離され、痂皮が脱落するまで感染性であると考えるべきである。

痘瘡には２つの異なった型が認められていた。小痘瘡は軽症で、病変部も少なく、ワクチン未接種者で死亡率は１％である。プロトタイプである大痘瘡は、死亡率はワクチン接種者で３％、非接種者で３０％である。大痘瘡の他の型である扁平型、出血型は高い死亡率を示す。痘瘡と近親関係のサル痘は臨床的には区別できないが、死亡率は低く、頚部リンパ腺や鼠蹊リンパ腺の腫脹が認められる。

予防

アメリカはすでに 4,200 万人分のワクチンを備蓄し、いずれ全国民に接種できる量のワクチンを用意するそうであるから、その危険性を十分認識していると思われる。テロリスト組織やテロ国家と云われる国にウイルスが渡っている可能性もある。致死率は高いもので２０～５０％である。生物兵器として非常に有効であると考えられている。ただし後述するように、非常に有効なワクチンがあるので、それほど恐れる必要はないといえる。

ア　天然痘ワクチン

有名な１７９６年ジェンナーによって開発された最初のワクチンで、非常に有効な生ワクチンである。有効期間は 3 年とされていた。このワクチンのおかげで天然痘を根絶する事ができた。天然痘ワクチンを接種する事を特に種痘という。根絶宣言によって日本では１９８０年から種痘を止めている。その前２０年以上は、患者の発生はないが、種痘の副作用（種痘後脳炎等）による死者が毎年数人でるという奇妙な状態であった。米国でも１９８０年代に国民への接種をやめ、１９８９年に軍隊での接種を停止した。種痘による免疫を獲得していない人口が増えるにつれ、生物兵器としての天然痘の脅威は増加しつつある。天然痘ウイルスに暴露されたら、直ちにか、7 日以内にワクチンを接種すれば発症を予防できるか、症状を軽減する事ができる。二叉針を用いて皮内接種を行う。接種後５～７日後、接種部位に発赤と硬結を周囲に伴う水泡が出現し痂皮を形成し１～２週間で治癒する。生涯残る傷跡がつく。副作用として、低い発熱や腋下のリンパ腺症がある。細菌感染と間違われる事もある。顔面、眼瞼に発疹がでたり、他人に感染する事もある。

生ワクチンであるから免疫不全の人に接種すると全身性の疾患を引き起こす。ここで問題と思われるのは､現在世界中に 3,600 万人以上いるヒト免疫不全ウイルス感染者である。大部分は未だエイズを発症していなくて、普通の日常生活を過ごしているが、免疫力は健常人より低下していると思われる。このような人たちに生ワクチンを接種する事はかなり危険であると考えられる。また実際に天然痘ウイルスに感染すると、症状は激烈で、急速に進行するので恐ろしい事となる。これだけの数の人たちがワクチン接種の対象から外され、また妊婦への投与も禁忌である。ワクチン未接種者（20 才以下の人たち）が多数存在するとウイルスはかなり蔓延できるであろう。いつ未接種者に接種を行うかについては、実際に患者が発生してからでよいと考えられている。しかし患者の発生を見たら早急に接種を行うための準備は前もって十分にしておかねばならない。

イ　受動免疫による予防

免疫グロブリン（ＶＩＧ）はワクチン接種の際の合併症の治療に使われる。ＶＩＧはウ

イルス暴露 1 週間以内の投与でも有効である。暴露後 1 週間以上経過している時はワクチンと同時に接種してもよい。投与禁忌の人（ＨＩＶ感染者、妊婦その他の免疫不全者）にワクチンとＶＩＧを同時に投与する事もできる。予防や治療のための投与は 0.6ml／kg の筋肉内注射である。投与量が多いので（体重 70Kg で 42ml となる)、多数の部位に 24～36 時間かけて注射する。

薬剤の予防投与は行われない。

診断

痘瘡は水痘、多形滲出性紅斑、アレルギー性接触皮膚炎のような水胞性紅斑と鑑別しなければならない。低度の免疫をもったヒトの痘瘡で比較的軽い場合には誤診しやすい。更に暴露されたヒトが明確な症状なしに、口咽頭からウイルスを排出している事があるのは効果的防疫にとって脅威である。防疫と医学的対応は正確な診断によって速やかに開始され、パニックを回避しなければならない。通常の診断法は電子顕微鏡で水泡内容物に特徴的なウイルス粒子を検出する事である。光学顕微鏡ではグアニエリ小体と呼ばれるウイルス粒子の集合体が見出される。他に水胞内容物中のグアニエリ小体の速いがやや感度の低い検査方法があり、細胞質内封入体が黒く染まるギスペンの銀染色変法がある。

これらの検査法ではワクシニア、サル痘、ウシ痘を区別できない。以前はこれらの鑑別にはウイルスの分離と孵化鶏卵の漿尿膜での増殖特性によっていたが、ポリメラーゼ連鎖反応（ＰＣＲ）の開発で、痘瘡ウイルスと他のポックスウイルス科のウイルスを鑑別がより急速で、より正確で誤りが少なくなった

治療

医療従事者は起こり得べき生物兵器脅威として、水泡性発疹を痘瘡と認識する心構えを持ち、適切な対応を行わねばならない。天然痘と確認できたら、国際的な緊急事態と考えて、公衆衛生関係者に直ちに報告しなければならない。患者に直接接触したもの（特にワクチン未接種者）は全て暴露後、最低 17 日の間飛沫感染や空気感染に注意しなければならない。民間人の無症状接触者全てに厳格な検疫を行う事は実際的でなく、不可能である。確定された患者との接触者に毎日体温を測定させる事が合理的であり、暴露後 17 日の間に 38℃以上の発熱は天然痘の発症を疑わせる。接触者は天然痘が確認されるか、除外されるまで、そして痂皮が脱落するまで直ちに隔離する（自宅でよい)。患者は痂皮が脱落するまで、感染性があると考えるべきである。兵器化された痘瘡ウイルスや天然痘患者に暴露された医療関係者は直ちにワクチン接種(または再ワクチン接種)を行わなければならない。

広範囲な空中散布による感染には疑問がある。一般的には、実際の感染には密接なヒト

とヒトとの接触が必要である。痘瘡患者は通常発熱から３～６日後である発疹の開始時には感染性である。患者が咳をしていると、感染性は著しく増加する。間接的な感染の頻度はそれ程高くない。3 年以内のワクチンの”善感”（傷跡を残す水泡形成）があれば、痘瘡に対する免疫があると考えてよい。戦時下では、軍隊に前もってワクチン接種を行う困難さと、不確実さがあるため、重大な暴露があれば、被暴露者にワクチン接種を行うとよいと思われる。

痘瘡ウイルスに対する抗生剤は研究中である。シドフォビルは動物実験で有効であるが、暴露後のワクチン接種より優れているかどうかは決定されていない。

（ｈ）ベネズラ馬脳炎ウイルス（ＶＥＥＶ）

概要

ＶＥＥＶ群は南アメリカ北部とトリニダッドに流行する８つの蚊で媒介されるウイルスのグループで、まれに中央アメリカ、メキシコ、フロリダでヒトに脳炎を起こす。ウイルスはヒトやウマ科の動物（ウマ、ラバ、ロバ）に重篤な病気を起こす。自然感染は種々の蚊に刺されて起こる。ウマ科動物はウイルス増幅宿主であり、感染の源因となっている。

西部及び東部ウマ脳炎（ＷＥＥ及びＥＥＥ）ウイルスとよく似ていて、臨床的に区別することは難しい、また伝播や疫学もよく似ている。ヒト感染量は１０～１００個と考えられ、効果的な生物兵器であると思われる理由の一つとなっている。直接のヒトーヒト、ウマーヒト伝播の証拠はない。エアロゾルによる自然感染は知られていない。ウイルスは環境中で不安定でQ熱、野兎病、炭疽の病原体のように持続して生存しない。熱や通常の消毒薬で容易にウイルスを殺すことができる。

症状

ヒト感受性は高く（９０～１００％)、感染者はほぼ１００％発症する。全体としての死亡率は１％以下であるが、弱年者や老齢者では高くなる。感染回復者は高い長期間の免疫をもつ。

ＶＥＥは主に急性の熱性疾患で、感染者のごく一部が脳炎を発症する。症状は軽度である（ＷＥＥとＥＥＥは主に脳炎感染である)。１―６日の潜伏期後、突然始まる。急性期は２４―７２時間続く。倦怠感、悪寒、スパイク状の発熱（３８～４０．５℃)、硬直、激しい頭痛、羞明、足や腰の筋肉痛がある。悪心、嘔吐、咳、喉の痛み、下痢が続発する。結膜感染、咽頭の発赤、筋肉弛緩が見られる。患者は倦怠感、疲労感のため、完全回復までの１～２週間動くことができない。

自然感染で感染児童（１５才以下）の約４％、成人の１％以下に重篤な中枢神経系（ＣＮＳ）感染が染起こる（死亡率　児童で３５％　成人で１０％)。動物でのエアロゾル感染実験から推測すると、生物兵器攻撃によるＣＮＳ感染の頻度と死亡率はもっと高くなると思われる。ウイルスは嗅覚神経に感染し、直接ＣＮＳに伝播する。軽度の神経症状は嗜眠、傾眠、軽度の錯乱であり、頚部硬直はあったり、なかったりする。重篤な神経症状として失神、運動失調、麻痺、昏睡が起こる。妊娠時の感染は胎児の脳炎、胎盤損傷、流産、重篤な先天性神経系異常を起こす。

予防

ア　ワクチン

2 つの未認可ヒトワクチンがある。1 つは 1960 年代に開発されたＴＣ-83 と呼ばれる弱毒生ワクチンで、ソーク研究所で組織培養を用いて産生された。これは必ずしもＶＥＥＶの全ての血清型に有効ではない。多数のＶＥＥの実験者に使われた。今は馬のワクチンとして認可されているが、ヒト用としては認可されていない。0.5ml 皮下接種を行う。被接種者の 20%に発熱、倦怠、頭痛が見られ、10%は１～２日の就床が必要である。18%には中和抗体が検出されないが、これらのヒトが感染に感受性であるかは不明である。ウイルス感染のあるヒトや妊婦には禁忌である。

2 つ目はC84 と呼ばれる未認可のＴＣ-83 株のフォルマリン不活化ワクチンである。ワクチンは一次接種には使われず、ＴＣ-83 の非応答者へのブースターとして使用される。２～４週間間隔で３回か抗体が検出される迄、0.5ml を皮下の接種を行う。定期的な追加接種が必要である。

すべてのワクチンで防御の程度は感染量に依存する。極度に多量のウイルスの感染は防御できない。組換体ＶＥＥワクチンの産生の研究が行われている。

現在の所、暴露前或いは暴露後の免疫学的予防はない。

イ　薬剤による予防

動物実験ではアルファ - インターフェロンとインターフェロン誘導物質であるポリＩＣＬＣが暴露後に高度に有効である事が明らかになっているが、ヒトでの有効性についてはデーターがない。

診断

ＶＥＥは臨床症状と疫学的背景で疑われるが、確定診断はウイルスの分離、血清学的検査、ＰＣＲによる。ＩｇM、ＥＬＩＳＡ、間接蛍光抗体法、血球凝集阻止反応、補体結合試験、ＩgG等の種々の血清学的試験が行われる。以前にＶＥＥに暴露された事のないヒト

では、発病後５～７日に一回採取された血清のＩｇM抗体検出で同定できる。ＰＣＲは確定手段となる。

診断のための検査材料は血液培養（ＢＳＬ-3 で行うこと)、急性期および回復期血清、脳脊髄液である。急性期のウイルス血症は（脳炎期ではだめ）ＥＬＩＳＡによる抗原検出ができる程に高い。ウイルス検出は時間がかかるが、血清や咽頭ぬぐい液を培養細胞や乳飲み児マウスに接種して行う。ウイルス分離もＢＳＬ-3 で行わなければならない。白血球数計算では、白血球減少とリンパ球減少が認められる。脳炎の場合には脳脊髄液圧が上昇し、1,000 白血球／μｌ（主に単核細胞）となり、軽度の蛋白質増加が見られる。

臨床的には ＶＥＥの発生はインフルエンザとの区別が難しい事がある。診断の手掛かりは僅かな例で神経症状があり、ウマの発病が見られる事である。しかし生物兵器攻撃では、これらの指標は見られない事がある。エアロゾル攻撃では、発作と昏睡を伴う有熱性髄膜脳炎の流行が起こり得る。無菌性髄膜炎や髄膜脳炎を起こす他の病原体と鑑別しなければならない。

治療

ウイルスにたいする特異的な治療法はないので、治療は支持療法のみである。合併症のないＷＥＥ感染では、頭や筋肉痛に対し鎮痛剤を投与する。脳炎患者では抗痙攣剤投与が必要になるかも知れない。体液を維持し、電解質バランスを保ち、気道を確保し、細菌の二次感染を防止する。患者は発病後 5 日間か無熱になるまで、殺虫剤で処理した、遮断された部屋や領域で治療しなければならない。ヒトでは蚊に対し少なくとも 72 時間は感染性である。患者の隔離と検疫は必要ない。患者が発熱している間は媒介動物（蚊）に注意しなければならない。患者から患者への呼吸器感染は知られていない。ウイルスは熱（80℃ 30 分）や標準の消毒薬で不活化される。

（ｉ）出血熱ウイルス（ＶＨＦ）

概要

４つのウイルス科のＲＮＡウイルスを含む

①　アレーナウイルス科

ラッサ熱ウイルス

フニンウイルス　　アルゼンチン出血熱

マチュポウイルス　　ボリビア出血熱

グアナリトウイルス　ブラジル出血熱

サビアウイルス　　ベネゼラ出血熱

② ブニアウイルス科

クリミア - コンゴ出血熱ウイルス（ＣＣＨＦ）

リフトバレー熱ウイルス

ハンターンウイルス

ハンタウイルス

③ フィロウイルス科

エボラウイルス

マールブルグウイルス

④ フラビウイルス科

黄熱病ウイルス

デングウイルス

キサヌール森林病ウイルス

オムスク出血熱ウイルス

すべての出血熱ウイルスはデングウイルスを除いて、実験室でエアロゾルによって感染する。エアロゾル感染性と高い致死率（全てではない）によって、生物兵器として利用できると考えられている。

症状

これらのウイルスは一般的にウイルス性出血熱を起こす。標的器官は血管壁であり、したがって主な臨床症状は小血管損傷と血管透過性の変化に起因する。

すべての感染者が出血熱を発症するわけではない。宿主因子やウイルス株の特性が発病に関わっている。例えば、デング出血熱は通常以前に異なった血清型のデングウイルスに感染した患者に発生する。前回の感染株に対する抗体が血中の単球によるウイルスの補食を高め、単球はウイルス抗原を細胞表面に提示する。細胞傷害性Ｔ細胞応答による感染単球の溶解によって、炎症性サイトカイン、血液凝固因子、抗凝固因子が放出され、血管傷害、透過性異常、補体活性化、全身性の凝固異常が起こる。リフトバレー、マールブルグ、エボラ熱ではＤＩＣが関わっているが、多くの出血熱では凝固異常の原因は多因子的である。例えば肝傷害、消費性凝固異常、一次性骨髄傷害による巨核細胞減少等である。ショックが起こり、全身の粘膜出血、肺出血、神経症状が出る。腎不全は心臓、血管の傷害と比例するが、腎症候性出血熱では腎臓傷害が病気の過程に重要な位置を占める。

共通の症状は発熱、筋肉痛、衰弱である。結膜充血、低血圧、顔の紅潮、小斑点状出血が認められる。

死亡率はエボラ出血熱で５０～９０％である。

予防

出血熱ウイルスのなかで、使用できる認可ワクチンは黄熱ワクチンのみである。アフリカや南アメリカの流行地への旅行者に任意接種される。アルゼンチン出血熱ワクチンはＵＳＡＭＲＩＩＤで開発された弱毒生ワクチンである。動物実験と南アメリカの野外実験で有効性が確かめられており、ボリビア出血熱の防御にも有効である。不活化および生リフトバレー熱ウイルスワクチンが目下研究中である。実験的なワクチニアウイルス組換体ハンターンワクチンはＵＳＡＭＲＩＩＤから実験従事者に提供されている。米国でヒトに使用できる、その他のＶＨＦに対するワクチンは現在ない。

ＶＨＦが疑われる患者の血液、体液、分泌液、滲出液に経皮、経粘膜で暴露された人は直ちに石鹸や水で皮膚を洗うべきである。粘膜は多量の水か生理食塩水で洗滌する。

ＶＨＦ患者（特にラッサ熱、ＣＣＨＦ、フィロウイルス病）への濃厚接触者や医療関係者は潜伏期間中の症状の観察が必要である。ＣＣＨＦ患者との高危険度接触者（体液の直接暴露）には予防としてリバビリンの経口投与を行う。ラッサ熱患者との濃厚接触者の暴露後予防も同様にする。

診断

ＶＨＦの診断には詳細な旅行歴と強い疑いをもつ事が必要である。アレーナウイルスやハンタウイルス感染患者では潜伏期間と思われる時期にげっ歯類との接触が見られるが、しかしヒトへの感染はエアロゾル化した滲出液や汚染物によって起こるので、ウイルス保有動物との実際の接触は必ずしも必要でない。リフトバレーウイルスやフラビウイルスの感染には蚊の大集団のある事が普通であるが、蚊に刺される事や病院内暴露は診断的重要性をもたせるにはあまりに一般的である。一方ダニに刺された事はクリミア・コンゴ出血熱の疑いをもつ事に診断的意義がある。多数の兵士が短い期間中にある限られた地域でＶＨＦの症状を示したら、流行の自然発生か特にその地域に自然発生のない型の疾患の場合には、生物兵器攻撃の可能性を疑って治療に当たるべきである。

ウイルスが存在する地域に旅行したり、生物兵器の脅威の情報が示唆されている場合には、重症の発熱性疾患と血管の関わる症状（低血圧、出血斑、易出血性、顔面や胸部の紅潮、浮腫）がある時はＶＨＦを疑うべきである。頭痛、羞明、咽頭炎、咳嗽、悪心、嘔吐、下痢、便秘、腹痛、知覚過敏、眩暈、意識混濁、振戦等の他の器官が関わる症状もよく見られる。動脈圧抵抗試験の陽性はデング出血熱に特に有用であるが、他の出血熱でも行って見るべきである。

臨床検査は非常に有用である。血小板減少症（ラッサ熱を除く）や白血球減少症は（ラッサ熱、ハンターン、重症クリミア・コンゴ出血熱を除く）は必ず存在する。蛋白尿や血尿はよくあるが、アルゼンチン出血熱、ボリビア出血熱、ＨＦＲＳでは必発である。ＡＳＴの高い上昇はラッサ熱の重症度と相関し、黄疸は黄熱の予後の悪さを示している。

大部分の地域で鑑別診断しなければならないのはマラリアである。マラリアに低い免疫をもつ患者のマラリア血症では、症状はマラリアによるという証拠にならない事を念頭に置いておくべきである。他の鑑別診断は発疹チフス、サルモネラ症、レプトスピラ症、リケッチア感染、赤痢、回帰熱、劇症肝炎、髄膜炎菌感染とである。さらに急性白血病、紅斑性狼瘡、血小板減少性紫斑病、溶血性血尿症状、播種性血管内凝固を起こす多くの疾患がＶＨＦとよく似た症状を示す。

個々のケースでの決定的診断はウイルス学的診断である。大部分の患者は容易に検出できるウイルス血症がある（ハンタウイルス感染を除く）。急速酵素免疫測定法によって、アルゼンチン出血熱、ラッサ熱、リフトバレー熱、クリミア・コンゴ出血熱、黄熱患者の急性期血清にウイルス抗原が検出できる。ラッサ熱、ハンターンウイルス特異的ＩgMが急性期に検出できる事が多い。ウイルスの培養と同定には 3～10 日以上が必要である。これらのウイルスを安全に取り扱うには、デングウイルスを除いて、特別の微生物学的封じ込めが必要である。ウイルスの収集、取り扱い、輸送、診断試料の操作には適切な注意が払わなければならない。ＣＤＣとＵＳＡＭＲＩＩＤが最高度の封じ込めレベル（ＢＳＬ-4 またはＰ-4）の診断検査室を有している。

治療

病原体が何であっても、出血熱に対する血液学的、呼吸器学的、神経学的な支持療法は同じである。強力な治療のみが重症の患者を救う事ができる。ＨＦＲＳ等では肺毛細管漏出の傾向は、血圧の低下した患者では体液還流を念頭に置いておかねばならない。血圧上昇剤を使う事がしばしば必要となる。血管内留置管や血流モニター装置は患者のそれによって得られる利益と出血の危険とを考慮にいれて慎重に行わなければならない。騒擾、意識混乱、筋肉痛、知覚過敏には保存療法を行い、鎮静剤や鎮痛剤をうまく使う必要がある。強力な治療を受けている患者は血管内留置管やカテーテル等のために二次感染が起こり易い。

出血の治療は一般的な血液凝固治療と同様である。筋肉注射や吸引や抗血液凝固剤の使用は避けなければならない。

ラッサ熱、ＨＦＲＳ、クリミア - コンゴ出血熱、リフトバレー熱に対してはリバビリン

が実験的に使用できる。第Ⅲ相試験ではリバビリンはＨＦＲＳの死亡率を低下させ、ラッサ熱の罹病率と死亡率を低下させた。ＨＦＲＳの野外試験では、発熱から４日以内に投与を開始し、7 日間続けると有効であった。ラッサ熱では発病から 7 日以内に投与を開始すると最も有効であった。リバビリンの唯一の副作用は中等度の貧血と可逆性の造血障害による軽度の溶血である。リバビリンは実験動物に催奇性があるが、ウイルス性出血熱の重症な妊婦には危険性よりも大きい利益性を考えなければならない。乳児子供への安全性は確認されていない。リバビリンはフィロウイルス（エボラウイルスとマールブルグ病ウイルス）やフラビウイルス（デング熱ウイルス、黄熱ウイルス、オムスク出血熱、キンサシャ森林病）には試験管内でも生体での活性を有していない。

未だ試験段階であるが、発病後８日以内に投与された適切な値の中和抗体を有する２単位以上の回復期血清はアルゼンチン出血熱治療に有効である。

（ｊ）ボツリヌス症

概要

ボツリヌス毒素は有芽胞のボツリヌス菌およびその近縁菌が産生するＡ—Ｇ（Ｃにはαとβがある）型の７つの神経毒である。知られている神経毒のなかで最も強力なものである。逆に痙攣性の疾患（斜視、眼瞼痙攣、斜頚、破傷風）の治療や美容的な皺とりに用いることもある。芽胞は広く分布し、嫌気性条件で発芽し栄養型となり、毒素を産生する。大規模な培養槽を用いて、生物兵器として大量の毒素を製造できる。ボツリヌス菌食中毒、乳児ボツリヌス症、創傷ボツリヌス症の３つの型がある。毒素はエアロゾルにしたり、食品や飲料水を汚染したりできる。毒素を吸入した時の臨床症状は食中毒の場合と同様であるが、吸入から麻痺が出るまでの時間は食中毒より長いと思われる。毒素の型と量によって決まる。

症状

吸入した時の症状の始まりは暴露後１２～３６時間である。生物兵器攻撃では短縮されるであろう。サルの実験では、小量の吸入では発症まで数日かかるが、摂取や大量の吸入では短時間である。

初期には脳神経麻痺が主症状である。散瞳、複視、眼瞼下垂、羞明による視力障害の眼症状が出る。構音障害、発声障害、嚥下困難等の他の脳神経症状が加わる。続いて対象性、下降性、進行性骨格筋弛緩麻痺が起こる。口腔咽頭筋の麻痺で上気道の虚脱横隔膜や副呼吸筋の麻痺で呼吸困難が突然くる。重症の食中毒では症状の始まりから２４時間以内に呼吸困難に進行する。

ボツリヌスの自律神経系への影響は典型的な抗コリン症状として現れる。口渇､腸閉塞、便秘、尿貯留である。悪心、嘔吐は腸閉塞の結果、非特異的にでる。散瞳は約５０％の患者に見られる。

感覚神経症状はない。毒素は脳血液関門を通過せず、中枢神経病は起こさない。精神的続発症は重症で、特別な治療が必要である。

予防

ワクチン

暴露前予防にはボツリヌス菌毒素Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、Ｅ型の未認可５価のトキソイドがある。未認可であるのはヒトでの有効性が明確でないからである。0、2、12 週に接種し、1 年後にブースターを行うと、被接種者の 90%以上に防御抗体が誘導される。3 回の接種後に一過性に適切な抗体レベルが誘導されるが、1 年後のブースター前には低下している。

ワクチンはボツリヌス毒素エアゾールに暴露された高危険度と思われるヒトには推奨される。現在、極度の特異環境下を除いてボツリヌス抗毒素の使用の適応はない。

5 価の抗毒素を用いる暴露後予防は動物実験では有効であるが、ヒトのデータはないので、暴露後予防には使用しない。抗毒素は極端な状況でのみ暴露後予防への使用を考慮すべきである。

ワクチンは 2～8℃で保存しなければならない（凍結しない事)。

診断

進行性下降性弛緩性麻痺の無熱性患者の流行発生は強くボツリヌス中毒を示唆する。低血圧がある事がある。食餌性の発生は小規模に起こる傾向があり、ＭＲＥ（Meals, Ready to Eat）のような軍隊用携行食で兵士に発生した事はない。作戦中の戦域での大量発生はエアロゾル化したボツリヌス毒素による生物兵器攻撃を考慮にいれるべきである。

個々のケースではギランバレー症候、重症筋無力症、チック麻痺のような神経 - 筋異常の症状と誤診しやすい。脳脊髄液は正常である。麻痺は全身的であり、エンテロウイルスによる筋肉炎と鑑別できる。ウイルス性脳炎で見られる精神状態の変化はボツリヌス中毒では起こらない。

神経剤やアトロピン中毒とボツリヌス中毒を鑑別する必要がある。神経剤中毒では、多量の気管支分泌物、縮瞳があるが、ボツリヌス中毒では分泌は低下する。アトロピンの過剰摂取とは、粘膜の乾燥と散瞳はあるが、中枢神経系の興奮（幻覚、錯乱）で区別する。

臨床検査ではボツリヌスに特異的なものはない。マウス中和試験は最も感受性の高い試験であり、血清試料を採取し、この検査のできる検査室に送る。ＰＣＲ法で臨床材料や野

外試料からボツリヌス菌を検出できる。臨床材料や野外試料からの毒素の検出はＥＬＩＳＡを用いて行う。臨床検査材料は血清、胃液、便、気管支分泌物である。中毒の回復者は、臨床症状を起こすのに必要な毒素量が少量であるため、抗体反応を起こしていないのが普通である。

治療

呼吸筋の麻痺による呼吸困難が最も深刻な効果で死に到る。呼吸の確保等の支持療法が救命につながる。１９５０年以前は、死亡率は60%と報告されていた。今日、気管切開や気管内送管や呼吸補助によって、死亡率は 5%以下になった。院内感染防止が第一に大切である。水分の補給、回腸の吸引、大腸や膀胱の管理、褥瘡と深部静脈血栓の予防を行う。回復には集中的な長期間の看護が必要である。回復の兆しが見えてから3ケ月、症状の完全な消滅から1年以上かかる事もある。

抗毒素

抗毒素は病状が進行しつつある患者の血液中の毒素のみを中和できるので、ボツリヌス抗毒素は早期に投与する事が大切である。症状の進行が停止した時は、毒素は血液中に存在していないので、抗毒素の投与は無効である。毒素は腸から吸収され続けているであろうから、抗毒素は実際的には食中毒の場合に効果的であると思われる。エアゾール暴露の動物実験では、臨床症状が現れる前に投与されると、抗毒素は極めて有効である。症状出現後に抗毒素を投与しても、呼吸不全を防止できない。

米国では3種の抗毒素標品が利用できる。食中毒のボツリヌス対しては認可3価（Ａ、Ｂ、Ｅ型）ウマ抗毒素がCDCから得られる。この製品はウマの血清であるからアナフィラキシーや血清病の危険があるという不利益がある。乳児ボツリヌス症に対してはカルフォニア保健局　の1価（Ａ型）ヒト抗毒素が利用できる。ウマＩｇＡ分子からＦｃ部を切断し、Ｆ（ａｂ）2部を残した7型全てに対するウマ7価抗毒素が米国陸軍医学感染症研究所で調製され、未認可で使用されている。動物実験で有効であったが、４％のウマ抗原が残っており、過敏症反応の危険がある。

ウマ抗毒素の使用に際しては、投与前にウマ血清に対する感受性の皮膚試験を行わなければならない。皮膚試験は 26～27 ゲージ針を用いて患者の前腕の皮内に、生理食塩水で10倍に希釈した抗毒素0.1mlを注射し、20分後にアレルギー反応を観察する。注射部位の0.5cm以上の発赤、発熱、悪寒、20mmHg以上の血圧低下、皮膚発疹、呼吸困難、悪心、嘔吐、全身の掻痒感の一つでもあれば、陽性と判定する。皮膚試験が陽性であれば、決してウマ由来ボツリヌスＦ（ａｂ’）2抗毒素を投与してはならない。アレルギー反応がなけれ

ば、10ml を 20 分かけて 1 回、静脈注射する。

皮膚試験が陽性であれば、0.01～0.1ml の抗毒素を皮下に注射し、次いで前回の量の 2 倍を 20 分おきに注射し、著しい反応無しに 1～2ml まで注射する事により脱感作する事ができる。脱感作は経験をつんだアレルギー専門医が行う事が望ましい。抗毒素投与を行う医師はエピネフリンや送管器具や静脈確保の準備をして置くべきである。

（ｋ）リシン

概要

リシンはトウゴマの種子由来の強力な蛋白性細胞毒である。トウゴマは世界中いたるところにあり、毒素の抽出は極めて容易である。小粒子のエアロゾルを吸入すると、８時間以内に、重篤な呼吸器症状が現れ、３６～７２時間で急性低酸素性呼吸不全となる。摂取すると、重篤な胃腸症状が現れ、循環麻痺から死にいたる。毒素は実験的に動物に静注すると全身性血管内血液凝固（ＤＩＣ）、微小血管循環不全、多臓器不全を起こす。

症状

臨床症状は暴露の経路によって異なる。エアロゾル暴露では症状は吸入量による。１９４０年代の致死量以下のエアロゾル吸入事故では、４～８時間で急激に発症し、発熱、胸部狭窄感、呼吸困難、悪心、関節痛が現れた。数時間後の大量の発汗は症状の終わりを示した。ヒトでの致死量吸入の例は報告されていないが、動物実験で重篤な気道の変化（壊死、重症肺胞水腫、）が見られ、死の原因となった。実験動物の死までの時間は暴露後３６～７２時間であった。ヒトでも重症肺炎となり、進行性咳嗽、呼吸困難、チアノーゼ、肺浮腫を伴うと思われる。

他の経路の暴露では、肺は直接刺激されない。しかし静注すると血管内皮細胞傷害による肺血管周囲浮腫が起こった。経口摂取すると胃腸上皮の壊死、局所の出血、肝臓、脾臓、腎臓の壊死が見られた。筋肉注射では、局所筋肉とリンパ腺の壊死があり、中程度に内臓が冒された。

予防

エアゾール暴露の予防には防護マスクが有効である。現在ワクチンは利用できないが、動物に免疫原性があり、致死的エアゾール暴露を防御するワクチン候補が開発中である。これらのワクチンでの暴露前予防はリシンを用いた生物兵器攻撃に対する最も有望な防御である。

診断

エアロゾル化したリシンの攻撃は臨床症状と疫学的検討によって診断する。地域的に密

集した集団の多数に肺障害が発生すれば、リシンやその他の肺刺激剤による攻撃を疑う。しかし同様な症状を示す肺感染病原体は他にもある。ブドウ球菌毒素Ｂ（ＳＥＢ）、Q熱、野兎病、ペスト等の生物兵器やホスゲンのような化学兵器剤が鑑別すべきものである。リシンによる肺浮腫は、ＳＥＢ（暴露後約 12 時間）やホスゲン（暴露後約６時間）によるものよりかなり遅れて起こると思われる（暴露後 1～3 日）。感染による場合と異なって、リシン中毒は抗生物質による治療を行っても進行すると思われる。肺炭疽で見られる縦隔炎は起こらない。

血清や気管支滲出液の特異的ＥＬＩＳＡや、組織の免疫化学染色が診断の確定に用いられる。リシンは免疫原性が非常に高い毒素であるから、回復者の免疫応答を調べるには急性期と回復期の血清を採取しなければならない。大部分のリシン標品はＰＣＲでトウゴマ種子ＤＮＡが検出できる。胸部Ｘ線撮影で、両側性肺浸潤、低動脈血酸素、好中球増多症、高透過性肺浮腫の特徴である血漿より肺滲出液の蛋白量が多い事がリシン暴露後の診断と支持療法の参考となる。

治療

暴露の経路によってリシン中毒患者の治療は異なっている。肺からの暴露による中毒では適切な呼吸の支持（酸素、送管、呼吸、血液管理）を行う。肺浮腫の治療が必要である。消化管中毒では、強い腸管洗滌が最も良い。次いでクエン酸マグネシウム等の下剤を使用する。活性炭はリシンのような大分子には殆ど効果がない。消化管からの水分の消失には十分の補液が重要である。皮膚の暴露には支持療法を行う。

（1）ブドウ球菌腸毒素Ｂ（ＳＥＢ）

概要

黄色ブドウ球菌はいくつかの外毒素を産生する。一つは腸毒素Ｂ（ＳＥＢ）である。菌体外に分泌されるため、外毒素といわれ、通常腸内で効果を発揮するので腸毒素と呼ばれる。ＳＥＢは化膿性毒素の一つで、通常不適切に取り扱われた食品中に産生され、摂取されるとヒトに食中毒を起こす。ＳＥＢは広範な生物学的活性を有している。吸入した場合と経口摂取した場合とではかなり病像は異なる。

症状

吸入後３～１２時間、経口摂取後４～１０時間でＳＢＥ中毒の症状が始まる。非特異的なインフルエンザ様の症状（発熱、悪寒、頭痛、筋肉痛）と感染の経路に依存した特異的な症状がある。経口暴露では、主に胃腸症状（悪心、嘔吐、下痢、筋肉痛）がでる。吸入暴露では、主に呼吸器症状である（咳嗽、胸骨後ろの疼痛、呼吸困難）。呼吸器暴露に伴う

胃腸症状は気管支の粘膜纖毛で排出される毒素を誤って飲み込んでしまうことによる。

肺症状は肺の炎症性サイトカインの活性化による肺毛細血管からの漏出と肺浮腫である。

熱は３９～４０℃で５日ほど続く。いろいろの程度の悪寒と無力感がある。咳は４週間続くこともあり、患者は２週間は仕事に戻ることができない。

検査では特異的なものはない。結膜の充血、血圧低下が見られることがある。胸部診察でも肺浮腫ある場合を除いて特別なものはない。胸部Ｘ線も正常であるが、重症では血管拡張、浮腫を認める。

予防

現在ＳＥＢ中毒に対する免疫のヒトワクチンはないが、いくつかのワクチン候補が開発中である。ワクチン候補はヒトでの安全性と免疫性の開発段階に到っており、有望である。受動免疫療法は動物で実験的に死亡率を低下させる事ができるが、ＳＥＢ吸入後 4～8 時間以内に投与しなければならない。ＳＥＢのＭＨＣ受容体への結合は急速なので（試験管内で 5 分以内）、能動免疫が最も実際的な防御であると考えられる。大部分のヒトはＳＥＢとＳＥＣ1 に対する抗体を検出できる。ＳＥＢへの自然暴露で獲得された免疫はエアロゾル暴露を完全には防御しない（嘔吐の軽減効果はあると思われる）。

診断

ＳＥＢ中毒の診断は臨床症状と疫学的検討に基づいている。ＳＥＢ中毒の症状はインフルエンザ、アデノウイルス、マイコプラズマのような呼吸器感染病原体による症状とよく似ているので、暴露初期には区別できない。全てに発熱、咳嗽、筋肉痛、頭痛が見られる。ＳＢＥ攻撃によって非常に短期間（恐らく 24 時間以内）に多数の患者が発生する。自然感染による肺炎やインフルエンザでは、患者はもっと長い期間に発症してくる。通常のブドウ球菌による食中毒では肺炎症状は示さない。ＳＥＢ中毒は急速にピークに達し、一定の症状となるが、肺炭疽、野兎病肺炎、肺ペストは治療しないと、すべて進行し続ける。野兎病、ペスト、Q熱では、胸部Ｘ線像で肺に浸潤を認める。ハンタウイルス肺炎症状、クラミジア肺炎、化学兵器吸入（マスタードガス、フォスゲン）も考慮に入れなければならない。

ＳＥＢ中毒の検査室での確認には、野外や臨床材料から抗原の検出（ＥＬＩＳＡ）、遺伝子増幅（ＰＣＲ　ブドウ球菌遺伝子の検出）がある。ＳＥＢは症状が出た時点では血清から検出できない。暴露後できるだけ早期に血清を採取しなければならない。ウサギによる実験のデーターで、血清中のＳＥＢの存在は一過性であるが、尿中に蓄積し、暴露後数時間で検出できるようになる。尿試料を集め、ＳＥＢを調べなければならない。気管分泌液

や鼻腔拭い液には早期（24 時間以内）に毒素が検出できる。大部分の患者は毒素に対して抗体を産生するので、急性期血清と回復期血清を採取しなければならない。好中球増多症や血沈率の上昇等の非特異的所見があり、X 線像の異常は肺浮腫の程度と一致する。

治療

現在、治療は支持療法に限られている。酸素と水分への細心の注意が重要である。肺浮腫がある患者は末端呼気圧陽性換気、血圧上昇剤、利尿薬が必要である。熱に対するアセタミノフェン、鎮咳剤が患者の苦痛を軽減する。ステロイドの効果は未知である。多くの患者は、急性期後は良くなったように見えるが、1〜2 週間は就業に適さない。重症例では肺浮腫と呼吸不全で死の危険がある

（m）Ｔ－２カビ毒素

概要

Ｔ－２カビ毒素はありふれた穀物カビで産生される４０以上の成分の群である。低分子物質で、環境中で極めて安定である。皮膚を侵す唯一の毒素で、暴露後短時間（数分―数時間）で水泡を形成する。カビ毒攻撃によって、皮膚、眼、呼吸器、胃腸が暴露される。

症状

生物兵器攻撃では、毒素は皮膚に付着し、侵入したり、吸入されたり、経口摂取される。怪しい黄色の雨の後の症状には、これらの３つの経路によるものが共存する。汚染衣類は更なる暴露の原因となる。暴露後数分以内の初期症状は焼け付くような皮膚の痛み、発赤、発疱で、壊死に進行し皮膚の広範な領域が黒くなり剥離すると致命的である。上気道暴露では鼻腔の掻痒感、疼痛、嚔、鼻出血、鼻汁が起こる。肺・気管・気管支中毒で呼吸困難、喘鳴、咳嗽が起こる。口腔、喉頭暴露では疼痛、血性の唾液と喀痰が起こる。胃腸中毒では食欲不振、悪心、嘔吐、水性及び血性下痢、痙攣性腹痛が起こる。眼暴露で流涙、発赤、異物感、かすみ眼が起こる。皮膚症状は数分から数時間で起こるが、眼症状は数分で起こる。どの経路の暴露からでも、全身中毒が起こり衰弱、脱力、眩暈、運動失調、協調動作不能となる。頻脈、低体温、低血圧は死にいたる。死は数分、数時間、数日で起こる。一般的な症状は嘔吐、下痢、焼け付くような痛み、発赤、掻痒、発疹、水泡、出血、呼吸困難である。全身中毒の末期の症状は汎血球減少性貧血、出血経口、敗血症である。

予防

攻撃に曝されたら、化学防護マスクと防護衣による皮膚、粘膜、気道の物理的防御が唯一の効果的な方法である。ワクチンは動物モデルで開発中であるが、兵士の野外使用には利用されない。局所的な皮膚保護剤は皮膚暴露の場合のみでしか使えない。T-2 暴露後 1

時間経ていても、石鹸や水で洗滌すると皮膚毒性を効果的に防ぐ事ができる。

診断

臨床症状と疫学的所見が診断の手掛かりとなる。生物兵器攻撃では、高い発症率、多種類の動物の死と黄色、赤色、緑色やその他の色の油性液体がカビ毒を示唆している。数分から数時間の以内の急速な発症が化学兵器や毒素による攻撃を示している。マスタードガスやその他の発疱性ガスによるものとの鑑別を考慮しなければならないが、これらは臭いがあり、目で見える。また直ちに野外化学試験キットで検出できる。マスタードガスによる症状は数時間遅れる。ＳＥＢやリシンのエアロゾルの吸入は発熱、咳、呼吸困難、喘鳴を起こすが、皮膚を侵す事はない。

Ｔ－２カビ毒素の特異的診断のための野外急速診断キットは未だない。血清と尿を集めて抗原検出のできる検査室に送らなければならない。カビ毒やその代謝産物は 50～75％のヒトで 24 時間以内に尿や便から除かれるが、代謝産物は暴露後 28 日でも検出できる。血液、肺、肝、胃内容物が検査材料となる。野外からの材料や臨床材料はガスクロマトグラフ質量分析計を用いて検査する。この系は 0.1～1.0ppb のＴ－２を検出できるので、毒素中毒者の血漿のＴ－２レベルを測定するのに十分な感受性がある。

治療

現在特別な抗毒素や治療薬はない。支持療法が全てである。未保護の兵士が攻撃に曝されたら、外側の着衣は 4 時間以内に脱ぎ、5％次亜塩素酸で 6～10 時間除染する。皮膚は石鹸と、もし利用できれば非汚染水で十分に洗浄する。これによって暴露 4～6 時間後でも皮膚毒性を軽減できる。M291 皮膚除染キットで皮膚付着Ｔ－２を除去できる。皮膚には火傷の標準治療でよい。毒素を摂取した場合は、毒素を吸着させるため、過活性炭の投与を行う。呼吸支持が必要な場合もある。眼は生理食塩水か水で洗浄し毒素を除去する。

３　生物剤の規制基準

（１）緒言

１９７５年に発効した生物兵器禁止条約の成立過程で、まず、８３の病原体と毒素が議論の対象となった。内訳はヒトの病原体では、２０のウイルス、９つの細菌、３つのリケッチア、２つの原虫、１つの真菌、２１の毒素、動物の病原体１９、植物病原体１８である。これらの病原体のどれをリストに加え、どれを除くかを決定することはなかなか困難である。各国からいろんな提案がなされ、議論された。各国の気候、衛生状態のレベル、国民の生活レベル、地域性（棲息する動物、昆虫）等のよって、重要な病原体は著しく異なるからである。そこで共通する基準となる性状として以下のものが考えられる。

（２）生物禁止条約での病原体の基準

1. 兵器化の容易さ
2. 病原体を広く散布できるか
3. 感染量が少なくても発病するか
4. 高い発症率
5. 高度の伝染性（特にヒトからヒトへの）
6. 感染経路（呼吸器感染することは重要）
7. 無能化力の強さ及び死亡率の高さ
8. 環境内での安定性
9. 検出・同定が難しいこと
10. 有効な予防法及び治療法があるか
11. 生産の容易さ

しかし、これらについて各病原体の正確なデータを得ることも難しい場合がある。例えば1.の兵器化の容易さについては、兵器としての開発、製造、貯蔵、使用法を考慮しなければならない。大規模な呼吸器感染を起こすためには、顕微鏡レベルの小滴のエアロゾルにする必要があり、各小滴には１個から数千の細菌やウイルス粒子を含んでいなければならない。呼吸器暴露のため、エアロゾルを広い地域に高度に散布したり、地域を汚染させたりできることは、ある種の病原体や毒素にとって非常に大切な評価基準となる。

免疫法や治療法があることは、その病原体の兵器としての可能性を低めることになる。生物兵器として使用されれば、有効な予防法や治療法のないものも多数存在する。大部

分の病気は、対象者全員にワクチン接種を行うには、３か月から１年が必要である。２種以上の疾患に対する大規模ワクチン接種は非常に困難であることが予想される。

上記の基準は平等に評価してよいのであろうか。おそらく軽重をつけるべきであろう。基準の基礎となっているのは、各疾患の自然感染の際の特性である。生物兵器として使用された場合には、十分な条件となりうるのかということも考慮しなければならないであろう。

遺伝子操作によって修飾された細菌やウイルスも難しい問題を提起する。感染性、伝染性、病原性、抗生物質抵抗性を強化させた細菌やウイルスの新しい特性については、新たな基準が必要である。

（３）毒素についての基準は以下のものが考えられる。

1. 兵器化の容易さ
2. 毒性の強さ
3. 発病率の高さ
4. 呼吸器経路による中毒
5. 無能化力の強さ及び死亡率の高さ
6. 有効な予防法、治療法の存在
7. 環境中での安定性
8. 検出・同定の困難性
9. 生産の容易性

殆どの毒素に関しては、除染の容易性は重要な問題ではないが、マイコトキシンの除染は非常に困難であり、胞子で散布された場合には、完全に除染するには数年はかかると思われる。毒素では死亡率のみでは基準として適切ではない。主に無力化剤として作用するものとして取り扱う。しかし将来は非常に重要な生物兵器となりうる可能性を有している。例えば、スーパー抗原と呼ばれているブドウ球菌エンテロトキシンＢ（ＳＥＢ）は強力な無力化剤であり、極端に少ない量で発病させる、しかし致死量は比較的多い。

（４）これらの基準を適応した評価

上記の基準で、基準間に軽重をつけずに評価してみると、ウイルスでは最も危険度の高いものは、エボラ出血熱ウイルス、痘瘡ウイルスであり、次いでクリミア-コンゴ出血熱ウイルス、ラッサ熱ウイルスとなり、ハンターンウイルス、マチュポウイルス、マールブル

グウイルス、黄熱病ウイルス、サル痘ウイルスが同程度で続く。東部ウマ脳炎ウイルス、シン・ノンブレウイルス、フニンウイルス、ダニ媒介脳炎ウイルス、西部ウマ脳炎ウイルスがこれに続き、次いでリフトバレー熱ウイルス、デング熱ウイルスとなる。オムスク出血熱ウイルスは高く評価されなかった。前者より低いのは兵器化の容易性が低いことによる。

細菌、リケッチア、真菌では鼻疽菌、類鼻疽菌が最も危険度が高い。これは有効な抗生物質が少ないことによる。次いで炭疽菌、ヤギ流産菌、ペスト菌があり、ウシ流産菌、ブタ流産菌、野兎病菌、オウム病クラミジア、ロッキー山紅斑リケッチアと続く。

毒素ではリシン、ブドウ球菌エンテロトキシンB、赤痢菌毒素、トリコテセンマイコトキシンが最も危険であると評価される。

（5）植物病原体の評価基準

植物病原体では下記の項目が評価の基準となる。

1. 兵器化の容易性
2. ヒトの健康に社会的、経済的に打撃をあたえるか
3. 潜伏期の長短
4. 散布の容易性（風、昆虫、水等）
5. ライフサイクルの長短
6. 感染量の大小、感染性
7. 初期の診断の容易さ
8. 環境中での安定性
9. 有効で経済的な予防と処置の有無
10. 産生の容易性

危険度の高いものは真菌のイネ科黒さび病菌, いもち病, イネ黒穂病菌であり、次いでトウモロコシ黒穂病菌となる。

ここに列記された病原体及び毒素は公衆衛生学、微生物学、感染症学、病理学的見地から眺めた危険なものとちょっと異なっている感がある。これは生物兵器としての要素が加味されているからである。

最終的な危険度の基準の決定にはまだまだ問題点が多い。さらには害虫類、昆虫、寄生虫等も考慮にいれなければならない。また科学的、技術的進歩が生物兵器としての病原体や毒素に大きく影響する可能性も考えておく必要がある。

（６）オーストラリア・グループ（ＡＧ）の規制リストの評価基準

１９９２年に決められたオーストラリア・グループ（ＡＧ）の規制品目リストから下記のような基準によっていると推察される。

1. 過去に戦争のために開発されたか、使用されたか
2. 過去に製造のために入手しようとしたり、入手されたか
3. 短い潜伏期で無力化したり、死亡させられるか
4. 大量生産が可能か
5. エアロゾルで感染するかまたは毒性であるか
6. 感受性の人々がいるか（ワクチン接種をうけている人が多いか、少ないか）

これらの基準は大規模な軍事的な使用のための病原体や毒素の入手に対処しようとするものであるが、公衆衛生上極めて危険な微生物や毒素が“エアロゾルで感染せず、毒性でない”ことや長い潜伏期を持っているため、基準から外れてしまっている。

（７）決定樹解析方式案の評価基準と危険度決定法

テロリストによる生物剤使用の脅威が高まるにつれ、これらの基準を修正する必要があると考えられ、テロリストの使用に対応する新しい生物剤評価基準として“決定樹解析”方式がある。これは脅威となる生物剤の活性を科学的な基礎で評価するために、段階的な解析過程を行うものである。以下はその一例である。

基準の決定

段階１　環境疫学基準（除外基準）

除外に当たって考慮されるべき基準

世界保健機構（ＷＨＯ）や地域監視プログラムと地域公衆衛生行政に干渉しないこと

大規模な国家プログラムによって人々が高い免疫をもち、公衆衛生上問題にならない生物剤

最近公衆衛生上問題になったもので衛生行政対策が存在するもの(疾患の広範囲の分布)下記の基準が適応される

監視網の存在（ＮＳ）

病原体の環境中の広範な存在（Ｕｂ）

病気の広範な普及（ｐ）

結果の表現

結果は“イエス”や“ノー”で表現され、ＮＳ、Ｕｂ、ｐの一つでもイエスであれば、評価から除外される。

段階２　公衆衛生重要度基準

次の解析段階の方向付けをするものである。

死亡率：　予防薬治療のある場合に、感染人口の３０％を越える死亡率を示す病原体や毒素。３０％を越えるものは直接、段階４に移行する。これらはバイオテロに取り入れるのに好都合であると思われる。死亡率３０％以下のものは、段階３で考慮される。

入院率：　感染者対入院患者の比率で表現される

段階３　伝播性基準

病原体の伝染力に関わる全ての要素、感染率、感染経路を考慮しなければならない。

ヒトからヒトへの感染性

ヒトからヒトへの感染による病気の伝播の最もよいパラメーターは病気の正味再発生率（Ro）である。病気が希で、人口の大部分が感受性である場合に、Ｒｏを各感染者から新たに感染する数と定義する。病気の正味再発生率は　Ro=１+（Ｌ／Ａ）の式によって推定される。非常に伝染しやすい病気（Ｒｏ が高い）はおそらく若年者に感染しやすい。公衆衛生政策や衛生プログラムの有無によってＲｏは異なり、Ｒｏの高い病原体が衛生状態の悪い地域に、テロリストによって持ち込まれると、公衆衛生システムは大混乱に落ち入る。この違いは大いに考慮されなければならない。

例

例をあげて説明すると、Ｌはその国の平均余命でＡは感染者の平均年齢である。平均余命が７５才で、天然痘感染者の平均年齢が８才とすると、Ro=１+（７５／８）=１０（一人の患者が１０人の感染源となることを意味する）である。発展途上国の天然痘のＲｏ は種痘キャンペーン前は３～５であった。正味再発生率と感染者の平均年齢、予防接種、衛生状態は直接関連があり、平均感染年齢が増加すると、不幸な結果をもたらすことがある。例えばポリオ髄膜炎は、近代工業社会以前はＲｏ は約５０であり、小児の病気であった。若年者の予防接種と水処理によって約６に低下したが、発病年齢が高くなり、重症度があがり、麻痺をきたすケースが増加した。

ベクター媒介病原体

ベクターによる媒介は病原体の流行を増加させるものとして、ベクターの発生、分布を考慮しなければならない。多くの病原体でこの基準はそのＲo には含まれていない。２つの準基準に分けて考えるべきである。

環境への適応性：　ベクターが新しい環境で生存していく能力である。

ベクターとヒトとの共存性：　ベクターがヒトと遭遇する確率である。

結果の表現

これらの基準の結果は“イエスかノー”または“高いか低い”で表現される。準基準の２つともノーであるか、環境適応性のみイエスであれば解析から除かれる。

媒体での増殖能

病原体が汚染媒体（飲料水や食品）中で増殖できる能力であり、この基準の評価には、病原体の消毒操作に対する抵抗性や食品、飲料水の保存剤への抵抗性を考慮しなければならない。

結果の表現

結果はイエスかノーで表現される。ノーの場合は解析から除かれる。

段階４　実行可能性基準

テロリストの生物兵器使用の実際性に重点をおくものである。

可搬性（Ｔｒ）：　輸送培地中で、病原性を低下させることのない能力。

安定性（Ｓｔ）：　空中、水中、食物中で長期間、病原性を維持する能力。

医学的治療の有効性（ＭＴＥ）：　もし有効な治療法があれば、病原体は低クラスに分類される。

結果の表現

この基準の結果は低、中等、高と表現する。

これらの過程を経て、コアリストに載せるか、警告リストに載せるか、リストから除外するかが決定される。

この決定樹解析式案は現在検討中であるが、従来考慮されていなかった点を含み、新しい問題点を提起している。しかし多彩な条件の中での、多種多様な病原体に対応できてはいない。さらに精緻な基準を組み合わせていく必要があるであろう。その上問題を複雑にしているのが、近年におけるバイオテクノロジーの著しい進歩である。病原性、安定性、薬剤耐性、感染経路の変更等の修飾、改変が行われるようになると、従来クラス１に分類され、問題視されなかった微生物が危険なものとなり、危険ではあるが有効な治療法があ

ると思われていた病原体が極めて危険なものとなる可能性がある。現在のところ、これらに対する方策については全く考慮されていないが、近い将来重大な問題となることは確実であろう。どのような対応が可能であるか心しておく必要がある。

II　ワクチン製造と生物兵器開発への転用の可能性

1　人体用生物学的製剤とその製造工程

ワクチン

人から人へと伝染する激烈な伝染病の予防の始まりは、イギリスの医師、E.Jenner による。「牛痘に罹った者は痘瘡（天然痘）には罹らない。たとえ罹ったとしても極めて軽くすむ」という話しを、牧場の乳しぼりから聞いて、これを確かめることを試みた。牛痘に罹った人の病巣リンパ滲出液を 23 人に接種しておき、2 ヶ月後に痘瘡の膿疱液を 23 人に接種してみた。牛痘の接種を受けた人は１人も痘瘡に罹らなかったという。

Jenner はこのことを１７９８年に発表し、これが「ワクチン」のはじまりである。人類は、それまで目に見えぬ敵（ミアズム）を恐れ、死が通りすぎるまで耐えていた。しかし、「ワクチン」という闘う武器をはじめて手にしたことにより、防衛手段を考案し人類の滅亡を免れることが出来る様になった。(恐竜は伝染病の蔓延により地球上から滅亡してしまったという説もある。)

その後人類は、小児マヒ（ポリオ)、麻疹、ジフテリア、百日咳、破傷風、結核、日本脳炎、インフルエンザ、ムンプス、A型肝炎、B型肝炎、水痘、ワイル病、コレラ、狂犬病、黄熱等の死菌、成分、弱毒生ワクチンの開発製造に成功し、感染予防に役立っている。

〔ワクチン開発の歴史〕

しかし、Jenner は当時病原体の存在自体を把握することは当然困難であった。痘瘡はポックスウイルスによる感染症であり、人類にとって最大の悪疫の一つである。しかし、ポックスウイルスは大きいのでビリオン（ウイルス粒子）の存在だけならば、条件さえ整えば光学顕微鏡でも認めることはできるが、ウイルスは細菌より小さく、１８９８年、Loeffler と Frosch がウシの口蹄疫が、細菌を通さない濾過器を通した試料で伝染させ得ることを証明した。この様な新しい「生物」群は濾過性病毒と呼ばれるようになり、一般的に光学顕微鏡の分解能限界より小さいため、電子顕微鏡の実用化によりはじめてウイルスの存在を証明することが可能となったからである。

当時、多くの伝染病の病原体をとらえることが出来ず、伝染病の予防にワクチンという考え方を応用することができなかった。

この点を克服し、種々の伝染病予防に応用する道を開いたのは、それから１００年近くも経った後の Pasteur によるものである。Pasteur はニワトリコレラという病原体を使用

し、菌体そのものを使って感染防御の仕組みを証明した。病原性の低下している菌を予めニワトリに接種しておくと、後で病原性の強い菌を感染させても発病しないことを示したのである。さらに家畜にとっても人にとっても激烈な感染症となり、最近でもバイオテロとしても使用された炭疽についても同様な方法で予防法を確立した。マウスやモルモットを使って病原性が強弱なさまざまな菌をつくり、病原性の弱い順に次々に羊に接種していき、最後に羊を死亡させる病原性の強い菌で攻撃してみた。予め病原性の弱い菌の接種をうけなかった羊24頭のほとんどは死亡し､生きていた数頭も瀕死の状態であったにも拘わらず、弱い菌の予防接種をうけていた14頭は元気に跳びまわっていたという。

このように、感染症を予防するために予め接種する病原性を弱めた菌のことを Pasteur はワクチン（Vaccine）と名付けた。その語源は、Jenner がはじめた牛痘（Vaccine）に因んでつけたものである。

その後まもなくして、生きた微生物ではなく、完全に殺した微生物でも同様に予防効果があることも豚コレラで証明された。

また、細菌そのものによってではなく、細菌の産生する毒素によって症状のあらわれる病気では、毒素を無毒化して接種すると発病を防止し治療することを、北里柴三郎とBebring が確立した。破傷風毒素、ジフテリア毒素をその抗血清で中和し、また Glenny と Siidmersem はホルマリンで毒素を無毒化したものを使って証明した。

こうして、ワクチンの応用範囲は飛躍的に広められ、多くの感染症を次々と征圧していき、今日の人類の繁栄と超高齢化社会への道を開くきっかけとなった。

２１世紀は人類が今まだ経験したことのない高齢化社会となり、抵抗力の低下に伴う高齢者の感染症が増加することになる。特にインフルエンザ、ＳＡＲＳ、肺炎菌等の呼吸器感染症による肺炎の多発に注意する必要がある。

老若男女に関わらず感染し、呼吸器系感染症の代表であり、その予防対策の代表選手であり、早期のワクチン接種により予防効果を発揮することの出来るインフルエンザワクチンについて紹介する。

インフルエンザＨＡワクチンの製造工程

インフルエンザはインフルエンザウイルスによって起こる急性呼吸器伝染病で毎年の様に流行をくり返し、ときには爆発的、世界的な流行を起こす。流行の規模と伝播速度は他の伝染病のそれをはるかにしのいでいる。予防対策は現在のところワクチンによる予防のみである。

インフルエンザウイルスはオルソミクソウイルス科に属し、1 本鎖ＲＮＡのゲノムをも

つウイルスで、リボ核酸たんぱく（Ｓ抗原）およびMたんぱくの抗原性によってＡ、Ｂ、Ｃ型に分類される。ほとんどは直径 80～120㎚ の球形粒子であるが分離当初は棒状またはフィラメント状粒子も見られる。ウイルスゲノムは８本に分節したＲＮＡからなる（Ｃ型は７本)。エンベロープには血球凝集素（ＨＡ）とノイラミニダーゼ（ＮＡ）の２種類のスパイク（Ｃ型は１種類）が突出している。ＨＡは細胞のレセプターと結合する役割を持ち、また感染防御抗原としての主役をなす部分である。ＮＡはウイルスが感染細胞から放出される時に必要な糖たんぱくである。ウイルス株の命名には、型、分離場所、番号、年号の順に記し、Ａ型の場合には末尾にＨＡとＮＡの血清型をつけるように国際的に定められている。例えばＡ/Ｂａｎｇｋｏｋ/10/83（H1 N1）のごとくである。

潜伏期は１～３日で、突然の高熱、頭痛、筋肉痛、倦怠感などの全身症状をもって発病する。発病当初は呼吸器症状が少なく、数日後に咳、鼻汁などが出現してくるのが特徴である。有熱期間は普通３～４日間で、下熱とともに呼吸器症状も次第に軽快し約１週間で治癒に向う。このような定型像は年長児および成人では明らかであるが、乳幼児でははっきりせず病型が多彩である。

インフルエンザが流行をくり返す原因は集団免疫の障壁を乗り越えうる抗原構造の変化（抗原変異）に求められる。Ａ型ウイルスでは２～３年ごとに抗原性がわずかにずれる、いわゆる連続変異と、従来の流行株とは抗原的に全く関連性のない変異株が、10～15 年ほどの間隔で突然に出現する、いわゆる不連続変異とがあり、後者の場合には、歴史に残る大流行を起こしている。Ｂ型では連続変異のみで、Ｃ型ではこのような抗原変異は認められていない。

流行は、毎年冬を中心に、秋から春にかけ、ＡまたはＢ型の流行がくり返される。流行は爆発的で伝染力が強く、短期間に社会全体に拡大する。罹患率の山は 5～14 才の小児である。特に学校、施設と云う集団の場で小児が感染し次いで家庭に持ち込まれて拡大する流行増幅様式をとりやすいので､わが国の予防接種対象は重点的に学童に向けられている。インフルエンザの流行は速度が早く、例えば東京都くらいの規模の都会だと、最初の流行が確認されてから４～５週のうちにほぼ全域に拡大する。

ワクチンは発育鶏卵で増殖させたウイルスを物理・化学的方法で精製濃縮したあとエーテルなどの脂溶剤で処理し、ウイルス粒子のエンベロープにある脂肪成分を溶出させることによりウイルス粒子をこわし微粒子に分解する。このような微粒子は発熱作用などの毒性物質は著しく減少しているが、免疫原となる抗原は保持されているので、副作用の心配のないワクチンができる。これがインフルエンザＨＡワクチンで、わが国では 1972 年度より使用されている。厚生省が指定したウイルス株を発育鶏卵尿膜腔内に接種し適当な温度

と湿度で培養後、4℃で胎児を殺し、その後尿膜腔液を採取し、精製濃縮する。精製濃縮は物理的および化学的方法を利用して行う。例えば超遠心法や密度勾配遠心法、硫酸バリウム吸着遊出法などである。精製濃縮されたウイルスにエーテルを作用させウイルス粒子をＨＡ画分に分解し、Ｎ２ガス通気下でエーテル除去後、適当な安定剤を加えワクチン原液とする。原液は一定のウイルス濃度になるように希釈され、Ａ型とＢ型それぞれのウイルス株が混合される。最後に小分け容器に分注されて最終製品となり、国家検定に提出され、それに合格したものを包装して、出荷される。試験法は図Ⅱ-１-１に示した如く種々の試験が行われるが、製造工程中と最終小分け製品について各製造所で行う自家検定とそれに合格した最終製品について国立感染症研究所で行う国家検定とがある。国家検定と自家検定試験は同じ試験である。

使用は集団的に広範囲の人を免疫することにより流行そのものを予防、阻止する目的で使用される。接種時期および接種方法としてはインフルエンザの流行は毎年１２月～３月頃であるので、少なくとも流行期前にワクチンができ上がるような計画を立てることが望ましい。成人では 0.5ml、６～１５才未満は 0.3ml、１～６才未満は 0.2ml、1 才未満は 0.1ml を１～４週間隔で 1 回～2 回接種する。抗体産生の面からは 4 週間間隔で接種することが望ましい。副反応は一般的には接種局所の発赤、硬結、発熱、頭痛、倦怠感などがあるが、ＨＡワクチンが使用されるようになってからは、非常に少ない。

ワクチンの今後の問題としては、現行ワクチンは種々改良されて現在にいたっているが、ウイルス粒子より感染防御抗原を取り出した、純化されたワクチンも実験室では作られるようになり、また、リポゾーム、ＭＤＰワクチンなど抗体産生能の高いワクチンの研究開発も進められている。現行ワクチンは免疫持続が短く、予防効果の期待できる期間は３～５ヶ月といわれている。ワクチンの効果を持続させるため、アジュバントの開発研究も行われているが未だ十分なものには至っていない。生ワクチンの開発および遺伝子工学によるインフルエンザワクチンの製造についても種々の問題が残されているが、今後のワクチンの研究の一つの方向と思われる。

痘そうワクチン（痘苗）

痘そう（天然痘）は特異的な熱型と発疹を主徴とする病気である。この病気は約 12 日間の潜伏期ののち発熱ではじまり、頭痛、背痛、不快感などを伴い、発病 3～5 日目にはいったん下熱し発疹が現れてくる。丘疹期、膿疱期と経過し、この頃再び発熱を起こす。第 11～12 病日には膿疱は痂皮となり 3 週間位で脱落し、瘢痕（あばた）をのこして治癒する。死亡率は 10%位である。

病原体はポックスウイルス科に属する天然痘ウイルスで、200nm×250nm×100nm 位の大きさである。

痘そうはヒトからヒトへのみ伝染する疾病で、感染は患者およびこれにより汚染された物を介して直接または間接的に起こる。最も重要なのは接触感染と経気道感染である。本病は大古から流行をくり返し、人類に災禍をもたらしてきたが、１９７７年１０月２６日に東アフリカのソマリアで１例の患者が発見されたのを最後に、地球上から消滅した。これはWHOを中心に、世界各国が協力して１９６７年から行ってきた、“痘そう根絶計画”が功を奏した結果である。WHOは、１９７９年１０月２６日に、この計画の終了を宣言した。

痘そうに罹った者は終生免疫を持つことは昔から知られており、このため古くは人痘接種法による予防が行われていたが、この方法は発病する危険性があるため、より安全な予防法が望まれていた。したがって Jenner の牛痘接種法が発見されてから次第に牛痘接種法が用いられるようになった。現在では牛痘ウイルスや人痘ウイルスと免疫原性は同じであるが、それらとは性状のやや異なるワクシニアウイルスが痘苗の製造用株として用いられている。

わが国で痘そうワクチンの製造に適当と認められている株は、大連Ｉ株、池田株、リスター株、ＥM63 株（組織培養株）がある。製造にはウシまたはヒツジ（痘そうワクチン）、またはウサギ腎培養細胞（細胞培養痘そうワクチン）が用いられる。

ｉ）痘そうワクチン：図Ⅱ-１-２に示したように、ウサギの皮膚を通過させた痘苗を若い牛の皮膚に接種し原苗を取り、これを種苗として製造用牛に接種する。接種には、腹部の毛を剃って石けんでよく洗い、アルコールで消毒したのち滅菌水でよく洗い流し、滅菌ガーゼで拭いて乾燥させてから皮膚に浅い切創を格子状に細かくつける。傷のつけ方は漿液がにじみ出る程度とする。切創面に種苗をブラシでよく擦入する方法で接種し、接種部を滅菌した腹帯で包み、ウシを常時起立させた状態で繋留する。接種後 4～5 日目の発痘極期にウシを放血死させた後、痘疱組織（粗苗）を 0.5%石炭酸で消毒し、滅菌水でよく洗い流し、滅菌ガーゼで水分を拭取った後、掻き取る。粗苗は－70℃に保存すれば長期にわたって安定である。この粗苗で液状痘苗を製造するには 50%グリセリン液を用い、また、乾燥痘苗ではマツキルベイン緩衝液を用いて磨砕乳剤とし、ろ過と遠心操作で粗大な粒子を除き 0.5%の割合に石炭酸を加え、25℃で約 48 時間撹拌しながら滅菌し、最終バルクとする。乾燥製剤はそれに安定剤を加え凍結乾燥する。

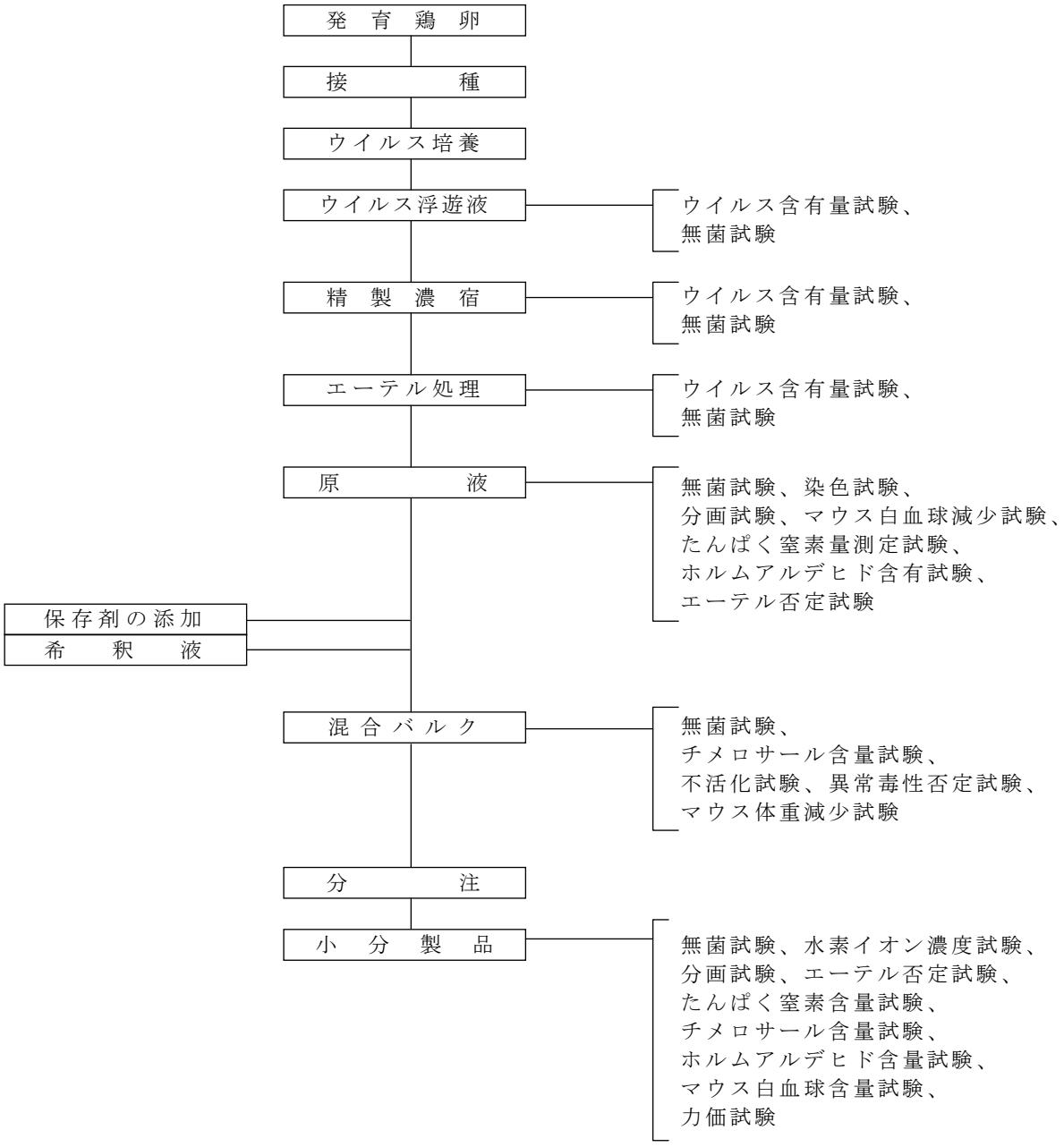
ⅱ）細胞培養痘そうワクチン：図Ⅱ-２-３に示したように、健康なウサギから採った腎培養細胞にウイルスを接種し、2～3 日目の細胞変性効果出現時に培養瓶を強く振盪すると

細胞は剥離するので、これを遠心し感染細胞を採取する。感染細胞浮遊液を超音波処理してウイルスを遊出させ､その遠心上清を原液とする｡原液に安定剤を加え最終バルクとし、小分け分注したものを、乾燥製剤では凍結乾燥し、液状製剤はこれを最終製品とする。

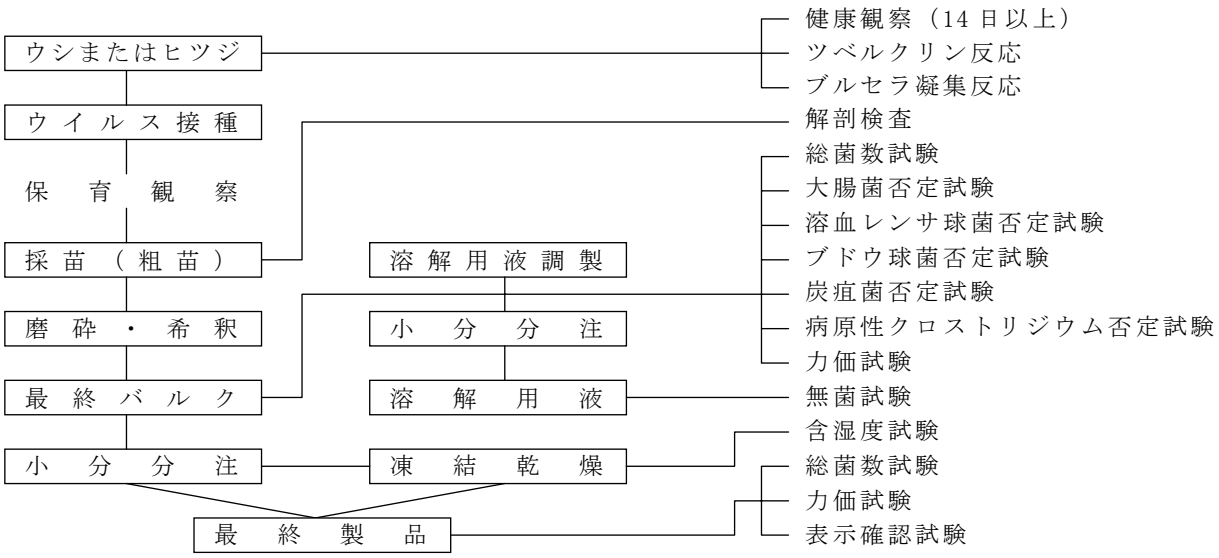
力価試験はポツク形成単位数により測定するが、ポツク形成の速度は製造株によって特徴的である。第２次ポツクが第１次ポツクの算定に影響を与える可能性の最も少ない時期を選んで奨尿膜を取り出すことが、正しい成績を得るために必要である。各株のポツク完成時間は、大連Ｉ株、池田株で 72 時間、ＥM63 株で 60～72 時間、リスター株、ＬＣ16M 8 株で 48 時間である。この時間を守っても、典型的な第１次ポツクの周辺に第２次ポツクが見られることがある。成熟した、サイズの揃った典型的なポツク以外の、未成熟でサイズが不揃いのポツクは、第２次ポツクとして算定から除外する。試験に用いる発育鶏卵は 12 日齢のものが最も感受性が高いが、その発育の程度に応じて、11～13 日齢の間ならば、有意の差なく利用出来る。

接種方法には多圧法と切皮法があり、現在は前者が用いられている。多圧法は接種部位の皮膚を緊張させ痘苗を塗り、多圧計で強く圧し、出血しない程度に数回から 10 数回縞をつける。切皮法は皮膚に痘苗を塗り、種痘針で交叉した２本の傷をつけ、そこに痘苗をすり込む方法である。

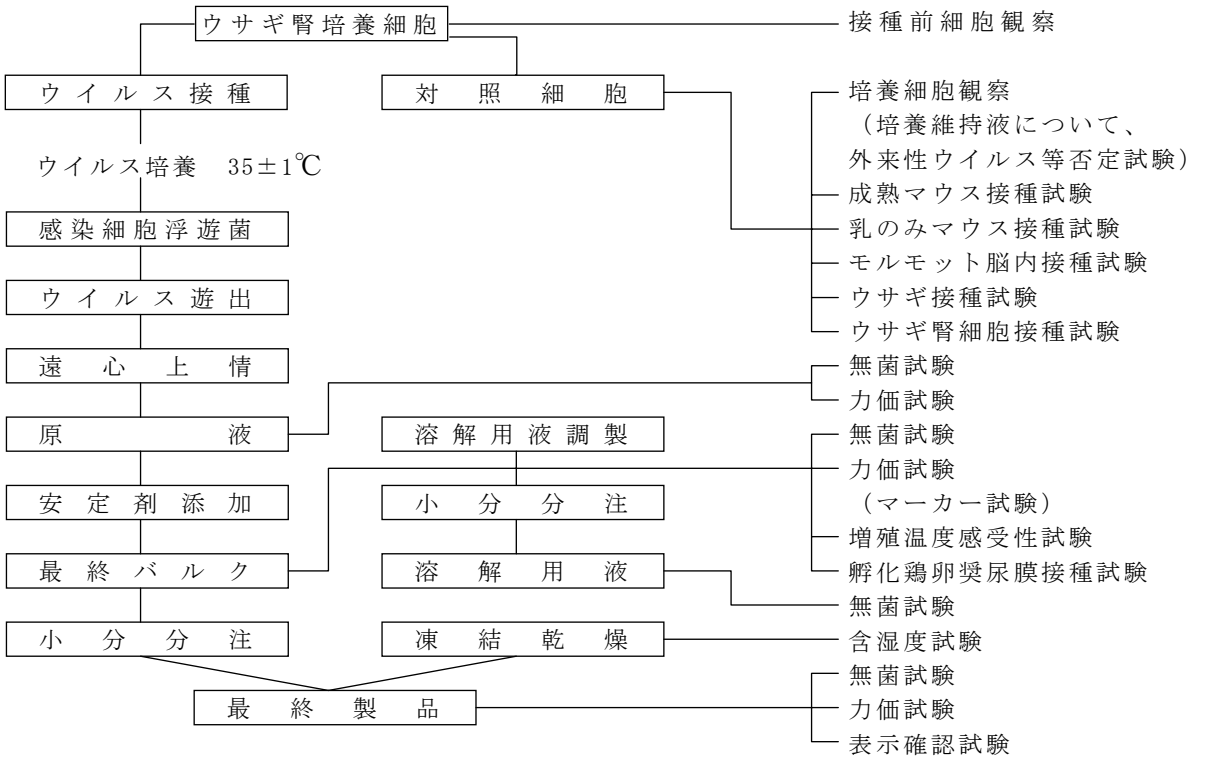
局所反応として接種後および 15 日以内に、接種部位に発赤、硬結、水疱、膿疱または潰瘍が出現することがある。また、接種後 10 日前後に全身反応として発熱、発疹、腋窩リンパ腺の腫張などをきたすことがある。



図Ⅱ-1-1　インフルエンザＨＡワクチンの製造工程



図Ⅱ-1-2　痘そうワクチン（痘苗）の製造工程



図Ⅱ-1-3　細胞培養痘そうワクチンの製造工程

２　大規模生物兵器製造への利用の可能性

生物兵器の製造には特別、特有の機材、装置は必要でないと云われている。一般的な民生用のものが施設も含めて転用可能である。デュアルユース性があるとも表現される。当然、オーストラリア・グループが規制している装置もデュアルユースのものである。

生物兵器の製造はその規模によって３つに分けられる。

①　実験室レベルのスケールのもので、一人または数人のテロリストによって行われるもの。

②　パイロットプラントスケールのもので、主に組織化されたテロリストグループや経済的に豊かでない発展途上国で行われるもの。

③　工業的スケールのもので、先進国またはこれに準ずる国が行うものがある。

これらの間には明確な境界はないが、おおざっぱに培養量が５０リットル以下、５０から５００リットルまでと５００リットル以上に分けられている。

この章では②５０から５００リットルおよび③５００リットル以上で行われると思われるものをとりあげる。

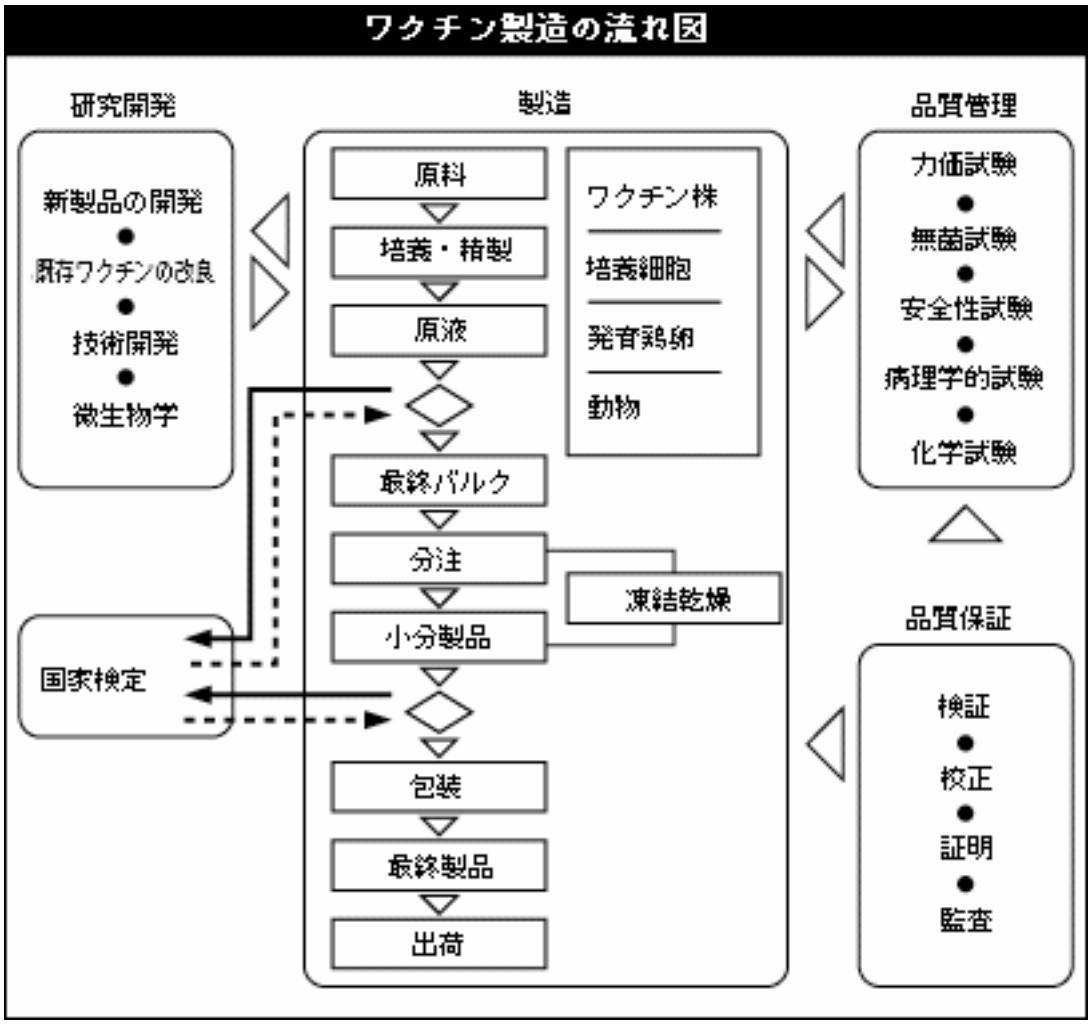
生物兵器製造に転用可能な施設はワクチン製造（生物製剤製造　これには動物用およびヒト用のものがある）用のものがあり、高純度で有効なワクチンがコンピューター制御の大量培養装置および精製装置を使用して製造されている。その他、ビール工場、日本酒醸造所、ワイン醸造所、ウイスキー工場、製薬設備の一部（抗生物質の製造）、乳酸菌製品製造工場等も転用可能であると考えられる。これらの施設は直ぐにでも転用可能であるが、実際の運用はかなり異なると思われる。

これらの施設で使用されている、ウイルス、細菌、真菌はほとんど弱毒化されたものか、病原性のないものである。ワクチン製造で強毒株が使われることもあるが、この場合はワクチンがあるので作業従事者はワクチン接種を受けることになる。これらの施設そのものはＡＧ規制に入っていないが、施設で使用される機材は規制の対象となっている。

生物兵器に使用されると思われる病原体には有効なワクチンのないものも多い。作業従事者の事故あるいはミスによる感染からの防護が、上記施設の運用よりはるかに重要となる。とくに大量の材料を取り扱う際には危険が大きくなる。空気の管理も厳しく行わなければならない。民生用の施設では製造中に他の菌（雑菌と云われている）が入りこみ製品を汚染することのほうがむしろ恐れられている。感染防止防護服の着用も必須である。付近の住民への感染防止も起こしてはならない。

このことは１９７９年に発生した旧ソ連邦のスヴェルドロフスクの微生物・ウイルス学

研究所からの炭疽菌の放出事故でも明らかである。この事件は生物兵器製造史上最悪の事故であると云われている。ソ連政府は事件隠蔽工作と秘密保持に努めたが、事件後すぐに西側情報部に察知されている。しかし正確な被害は未だに明らかになっていない。



図Ⅱ-２-１

図Ⅱ-２-１は一般的なワクチン製造の流れを示したものである。ワクチン製造の場合、製品管理、品質保証は、特にヒトワクチンに関しては厳しく行われている。自家検定、国家検定が繰り返し行われているのはそのためである。しかし本質的なところはほとんど変わらないとしても、生物兵器製造では力価試験以外はそれほど重要視されないであろう。

ワクチン製造の場合、研究開発のための研究所が附置されている。むしる研究所附置の

ワクチン製造所といっているところが多い。生物兵器製造の場合でも、国家的に行う際には研究所の存在は必須であるとされると思われる。上記の工場の生物兵器製造工場への転用は可能ではあるが、それなりの知識、技術、経験が必要で、考えられているほど容易ではないかも知れない。

Ⅲ　生物兵器の製造装置及び関連資機材と規制基準

１．生物兵器製造関連資機材

（１）生物剤製造関連資機材

生物剤の研究開発や製造等に使用される関連資機材については、昨年(2002 年度)の生物剤関連資機材技術調査（生物兵器製造関連デュアルユース資機材）（委託調査）の第 2 章でその主要なものが挙げられているが、ここでは、軍用の生物兵器製造に関わる資機材の概要を把握する上で、大学・研究所や民需産業で使用されている主要な資機材を取り出してみたい。

ア．大学・研究所等で使用される資機材

大学・研究所等で主として使用される資機材として、①各種顕微鏡、②色々な方法による滅菌のための装置・機材、③各種遠心器、④微生物の検出に必用な機材、⑤ウイルスの保存に必要な機材、⑥微生物取り扱いのための装置などがある。この中で、規制の対象に挙がっている機材として、①遠心分離機、②培養装置、③凍結乾燥器、④物理的封じ込め装置、などがあり、これらは研究・開発や製造面で必要不可欠な機材である。

（ア）遠心分離機

遠心分離機には、低速遠心分離機、冷却遠心分離機、高速遠心分離機、超高速遠心分離機、連続遠心分離機などがあるが、この中で冷却遠心分離機は 5,000rpm～20,000rpm の遠沈に用いる。超遠心分離機は 20,000rpm～100,000rpm で用いるもので、空気抵抗、空気の摩擦による発熱を防ぐため真空状態で用いられる。プラスミッド DNA を 2 時間で分離でき、また蛋白質/蛋白質、蛋白質/核酸、レセプター/リガンド等の相互作用を溶液中で解析できるものもある。いずれの遠心分離機も微生物の飛散を防ぐための装置を必用とする。これに使用されるローターは 1 個 2 百万から 6 百万円（連続遠心用）するといわれる。1 台の遠心分離機に 5 から 10 個（種）のローターを用意するのが普通である。

連続遠心分離機は連続的に液を注入して遠心沈殿を行うものである。専用器と通常型にアダプターと連続遠心用のロータを用いて行う場合がある。液体の注入速度と回転数により沈殿の程度を加減する。

（イ）培養装置

大学・研究所等では、培養装置としてふらん器（インキュベーター)、ふらん室は細菌培養には欠くことのできないものである。箱型のものから、ふらん室として人の立ち入り可能な広さのものもある。よく用いられる温度は、４２℃から２５℃であるが、任意の温度

に設定可能である。炭酸ガス培養器、振とう培養器、回転培養装置、嫌気性菌培養装置、大量培養装置（ファーメンター）がある。

（ウ）凍結乾燥機

ウイルスの感染力を失わせることなく長期にわたって保存する場合、－８０℃のフリーザー、又は液体窒素中に保存する。これで何年間かにわたって保存できる。凍結乾燥すれば常温でも何年間か保存できる場合もある。電気のないような場所にも持ち込むことができる。

凍結乾燥機は試料を凍結させ､真空中で水分を昇華させて乾燥する装置である｡装置は､①試料を入れる乾燥部､②昇華した水分をとるコールドトラップ､③真空ポンプよりなる。

細菌、ウイルス、酵素を生物活性（感染力、酵素活性）を保持したまま保存できる。常温でも長期間保存できる場合もあり、熱帯の電気のないような所にもワクチン等を運ぶことが出来る｡現在では､保存食､コーヒーのも応用され､大量の処理法も開発されている。現在までスピロヘーター、原虫の凍結乾燥保存には成功していないと言われる。

（エ）微生物取り扱いのための装置（物理的封じ込め装置等）

微生物取り扱いのための装置には、セーフティキャビネット、グローボックス、クリーンルーム、感染動物飼育装置、噴霧感染装置等がある。ここでは物理的封じ込めに用いられる装置について取り上げる。

微生物の危険度に応じてＰ１～Ｐ４の物理的封じ込めレベルで行われている。

Ｐ４レベル　－　すべての操作をグローブボックス内で行い、試料はいっさいボックスから出さない。細かい操作は難しく特別の訓練が必要である。作業衣は密閉され空気を送り込む。

微生物を取り扱う場合、バイオハザードという言葉が使われる。バイオハザードとは、一般に直接的、間接的に人、動物に影響を及ぼす病原生物実験、或いは潜在的危険のある組み換え実験をいう。バイオハザード対策ルームは、クリーンルーム、バイオロジカリークリーンルームとは気流システムが逆になる。すなわち、前者は内部が陰圧であり、後者は陽圧になっている。室内で発生する危険な高濃度微生物から作業者を保護したり、その外界への拡散を防止する設備をバイオハザードルームという。バイオハザードキャビネット（安全キャビネット）は危険度の程度に応じて５つのクラスに分類されている。ヒトまたは動物に重篤な疾患を惹起し、羅患者から他の

個体への伝播が、直接または間接に起こり易い病原体（個人及び社会に対し高い危険 度を有するもの、例えば、エボラ出血熱、クリミアーコンゴ出血熱、マールブルグ病、ラッサ熱、天然痘等）を取り扱うためには、最高度の封じ込め施設である BSL-4 の設備が必要である。

P3a レベル　－　一般の区域と前室で分ける。実験室のドアは二重にし、一方が開いている時は他の方は開けないようにする。実験室内の気圧を外部より低くし、空気の流れが外部から前室へ前室から実験室へいくようにする。排気は高性能フィルターを通す。

イ．民需産業で使用される資機材

民需産業で使用されている資機材で特に注目されるものは、細菌培養用培地及びバイオセイフティーレベル４の施設である。

（ア） 細菌培養用培地

細菌培養用の培地は大学、研究所、民間企業で研究用、検査用として広く用いられている。これらの培地は自分で作成することもあるが、既製品を購入することが多い。

（イ） バイオセイフティーレベル４の施設

バイオセイフティーレベル４の施設を所持することは高度に危険な微生物の研究を行うことができることを意味しており、生物兵器開発、研究の能力のある可能性を示す。

（２）生物兵器の製造

生物戦（BW）用の剤は目標となる人間に病気を引き起こしたり、死をもたらすことができる、自然に発生する微生物（バクテリア、ウイルス、真菌類等）やトキシン（毒素）等であるが、最近では遺伝子工学的な剤が研究・開発されつつある。またこれらの剤によって、ある国の食糧供給や食糧資材が攻撃できる。

一般に、生物兵器は次のような特徴を持っている。

① 生物兵器は、それらが大多数の宿主の中で、複製したり、感染（そして死）を引き起こす病原性の微生物から構成されているのでユニークである。

② 被爆の症候が発現するには数時間から数日を要する。

③　生物兵器は比較的安価に製造できる。

④　生物兵器用の剤を造るのに使用される装置はすべてデュアル･ユースであり、製薬、食品、化粧品及び殺虫剤工業で応用されている。

⑤　分散と散布は生物兵器の効果的な使用の鍵となるものである。

⑥　多くの毒性生物は外的な力（例えば、日光、爆発等）により破壊され易いものである。

特に、生物兵器の製造面から見れば、次の点が強調できる。

①　生物兵器の製造は民需品の製造に類似している。

②　毒素を例外として、生物剤は増殖できる。

③　生物剤の封じ込めは決定的に重要である。

④　プラントの設計は隠密の生物剤の製造の兆候と見なすことができる。

生物剤の製造に含まれる工程には、生物剤の選択、少量の生物剤の初期培養から剤の大規模製造、及び生物剤の安定化が含まれる。BW 剤として関わりを持つ微生物や毒素生成物のリストは AG 合意により得られたものである。

製造設備の設計は､その設備が医薬品的なグレードの製造物を製造しようとしているのか、それとも生物兵器のグレードの生物剤を製造しようとしているのかに関して重要な情報を提供する。目的を持った設計の基本要素には、①封じ込め、②精製装置、③滅菌装置、及び④換気と濾過システムなどが重要であり、これらが含まれる。

バイオケミカルの製造・プラントの設計は秘密裏に行おうとする生物兵器（剤）製造の重要な兆候である。また､製造の間における生物剤の封じ込めは特別に重要な問題である。生物剤や毒素の兵器化のために必要な生体材料とこれに対応し、或いは兵員の行動を強化するのに使用される防護剤との間には明確な相違がある。攻撃的な軍事活動のための生物兵器（剤）の製造には、伝染性の性質を持つ剤から環境を防護するために、製造プロセスの封じ込めが必要であるが、防衛的な軍事活動のための、ワクチン、BRM（バイオロジカル・レスポンス・モディファイヤー｛生体応答調節剤＝疾病を撃退するように生体自衛を促進する因子、例えばインターフェロンやインターロイキンなど｝)、抗体及び抗ウイルス剤のような生体材料の製造では、その環境で汚染される資材から製造された生体材料を防護するための封じ込めが必要となる。対応する効果を強化するためには、生成物の純度と清潔さのレベルを高くする必要がある。比較してみると、精製していない BW 剤の方がワクチンや BRM を製造するのに必要である精製された剤よりも一般的には、より安定であ

る。その結果、拡散懸念国が BW 剤の使用のためだけに製造するのであるならば、高いレベルの純度は必要ないと言える。

生物兵器（剤）の製造には、すべすべした、高度に磨き上げたステンレス鋼の表面をもった、自己封じ込め能力のある、且つ負圧の条件を含む、MCTL で確認された操作条件下での醗酵槽或いは単一セル製造能力が必要である。

生物兵器のための製造要件と非軍事的な民需目的のための製造要件との主な相違は「封じ込め」と「汚染」にある。生物剤の兵器製造の間は、通常、生物剤による環境汚染を回避するための努力が行われる。製造物の汚染については余り問題にしない。逆に、医薬品、醸造及びバイオテクノロジー工業は製造物の純度や品質の保護を最も問題視している。これらの問題は密閉式ジョイント（継手）、正圧又は負圧チャンバー及び通気システムの封じ込め、などの特性に関わるものである。人が使用する場合、生物学的な基礎を持つ資材のプロセス中の封じ込めには、清浄な蒸気、無菌の空気、及び不活性ガスの供給ができる利用施設が最も不可欠なものとなる。そして、これらは良き製造条件に合致しなければならない。

浄化した水の供給で作った清浄な蒸気は、無菌状態を確保し且つ環境汚染を防ぐために、製造物と直接接触するプロセス装置の全てに供給されなければならない。スチーム滅菌は製造物の加工前に装置へ直接送り込むことにより行われる。スチームは、最初のバリヤーとしてプロセスの加工の間に装置のシール（例えば、サンプルの取り出し出入り口、攪拌機の軸、原料資材の追加投入口など）に送り込まれる。装置の上にできた凝縮物の除去や腐った蒸気の除去は同様に重要である。これは、バクテリアの成育を促進する、よどんだ水の窪みの生成を防ぎ、滅菌に必要な高温を維持する。集められた、汚染の凝縮物は、その環境に放出される前に最終的な滅菌或いは不活性化のために或る地域は流される。効果的な蒸気の供給と凝縮物の除去には圧力調節器、圧力軽減装置、通気及び全てのライン（配管系）の水抜きの能力が必要である。

プロセス装置への無菌化した不活性ガスの供給は、封じ込めの１つの手段である。この方法は、酸素に敏感な生物剤を保護し、毒性生成物のエアロゾルの発生を予防する。窒素、ヘリウムやアルゴンなどのような不活性ガスは、通常、無菌化したライン内フィルターを通して直接プロセス装置に供給され、プロセス容器内の生成物を加圧した状態に保ったり、或いはまた不活性に一面を覆うことなどがなされる。

封じ込めの高いレベルを達成するのに、多くのバイオ・プロセス工業では、自動操作化が高度に採用されている。精製された製造物の潜在的な汚染、毒性生成物又は毒性成分に

対する人間の暴露、及び人的エラーの危険性は最小限になるようにされている。プロセスの施設は最新式の、コンピューター化した、分散型のコントロール・システムを使用するようになっており、これらは、自動制御、遠隔制御及び自動データー記録・自動進路化などを行うことが可能になっている。

バイオプロセスにおけるもう１つの要素は、プロセス区域の第１次及び第２次障壁内でのベンチレーション（換気装置）の設計である。第１次障壁（例えば、生成物を装置の操作員やプロセス地域の他の部分と分離するための障壁）におけるベンチレーションは、専用の、並列の空気／ガス膜フィルターで造られている。第２次障壁へのベンチレーションは、清浄な地域（空気量に対する粒子数で評価される）の維持やプロセス地域と外側の環境との間､或いは同一施設での別のプロセス地域間との正圧又は負圧の維持を可能にする、より複雑な空気操作システム設計を必要とする。これらの設計に使用される装置には、高い効率性を持つファンや HEPA フィルター（高効率パーチクル・エア・フィルター＝0.3μm 以上の粒子を 99.7%以上除去できるエアフィルター）などが含まれる。

生物の実際の自己複製に対して使用される手法は生物自身の機能である。ここでは、細胞（セル）培養技術、醗酵技術、ウイルスの自己複製技術、遺伝子組み替え DNA 技術及び粉砕する技術や粉砕機にかける技術などを含む幾つかの技術が駆使される。

細胞培養は、病原性ウイルスやリケッチャが生きている細胞（例えば、ひよこの胚或いは組織培養）以外では生殖しないので、これらの生殖に必要である。ある種のバクテリア（例えば、ペスト菌）も生きている動物の中で培養されるが、バクテリアやバクテリア毒素の製造には、醗酵を含む単一細胞培養チャンバーが使用されている。

遺伝子組み替え DNA 技術は、まれな動物性毒素を作る良い方法である。この技術はその複雑さのために、その能力はまだ他の技術ほど広く普及していないとみられている。

粉砕する技術や粉砕機にかける技術は､呼吸器を狙ったデリバリーに最も大きさである、10 ミクロン又はそれ以下の直径を持つ粒子の BW 剤や毒素兵器（TW）の剤を製造するのに通常使用される技術である。

生物剤の製造は、その規模により色々のスケールのものがあるが、その１つは、小さな装置で、探知されることも無く、比較的簡単に低コストで、すべてデュアルユースの装置を使用して大量に、且つ容易にできる。生物剤の製造のためには特別な装置は必要としないとの見方もある。それは、合法的なワクチンの製造や薬剤プラントに使用されるデュアル・ユースの装置や技術が適用できるからである。

生物剤を造るスケールとしては、通常、実験室スケール、パイロット・プラント的スケ

ール、及び工業的スケールの 3 つがある。これらのスケールレベルごとに使用される容器や大きさにははっきりとした区別はないが、一般的には、50 リットル以下、50～500 リットル及び 500 リットル以上と区分されている。どのスケールを選ぶかは、最終生成物の、使用する量により決まる。組換インシュリン製造のような、商業的努力が行われる場合には、パイロット・スケールで充分に必要な量を造れるが、抗生物質の製造には、工業的なスケール量以上が必要となると言われる。

軍事的な応用には、戦略的に意味のある量の剤をパイロット・プラント・スケールの操業で生産できるが、期間的には、実験室スケールの操業でも軍事的に必要な量の物質を充分生産できると言われる。

一方、遺伝子工学は、生物戦のための生物剤の、より効率的な生産に大きな力を発揮するものと考えられ、特に非常に少量自然に発生する毒素剤について大きな力を発揮すると言われる。例えば、至る所にある非発病性の生物剤に、ある毒素を遺伝子情報として入れる DNA 挿入では、パイロット・プラント・スケールの装置で、その毒素の充分な量を製造することが出来る。

オーストラリア・グループ（AG）は、生物兵器目的で使用される可能性のある装置パラメーターを規定しているが、生物剤製造のための特別な装置はないとしている。

典型的な生物剤の製造プロセスでは、生物体は、生物体の成長に適した媒体の中で、培養槽の中で成長する。生物体の一部には、非常に特別な栄養物を必要とするものもあるが、殆どのものは、一般的な媒体の中で増殖する。最終生成物として、全細胞の生物剤を造る場合、最終的には、細胞は遠心分離機で媒体と分離され、貯蔵のために、適当な形態に変えられる。

醗酵プロセスの形態は、希望する最終生成物の種類によって決まる。最も広く利用されているアプローチには、非連続性のもの（バッチ式）、嫌気性のもの（フィード・バッチ式）及び連続的な醗酵法がある。これらの異なったプロセスには多分に、量的なオーバラップがある。

極く最近では、生物剤を軍事的に意味のある量として製造する技術が出現している。今日、実際には、病気を惹起させるどのような剤も実験室で生産でき、また多くのものは工業的スケールで製造できるようになっている。

遺伝子工学の発展によって、新しい病原体を作り出したり、生物体に、より毒性の強い遺伝子を埋め込んだり、特別な軍事的要求に合致した特性を持つ生物剤を造ることが可能になっている。１９７９年以来のバイオ技術や遺伝子工学の発展によって、理論的には、

以前には少量で、かっては軍事的に意味をなさなかった量のものが、現在では大量生産が可能な、致死性の強い自然の生物剤を作り出す可能性が出てきている。例えば、組換 DNA 技術の面では、新しい生物剤の製造や変種の生物剤の開発、或いは合成によるバイオ調整剤や化学毒素のような生物剤の新しい方法による応用化などが可能になっている。これらは､すべてデュアルユースな技術と製造装置と開発資機材を使用して造られるものである。

ここで、生物戦能力に影響を与える最近の開発について概観してみよう。

過去 25 年間の近代生物学の導入は、生物戦や或いは生物戦の脅威が軍事力や都市の人間社会に及ぼす質的及び量的インパクトを著しく変化させて来た。この新しい技術は次のような分野の潜在的能力を与えている。即ち、

- 配備後の毒性と安定性を増大させる生物剤の開発
- 生物剤の送達を集団へ目標化する能力
- 生物剤に対する人的防護
- 生物剤の検知を複雑化するため、非病原性の性質のものから病原性生物を遺伝子態変化により製造する能力
- 病原菌に対する感受性を増大或いは減少させるため、目標となる人々の免疫的な対応システムを改変する能力
- 生物剤の表面でユニークな特徴のある分子を検知する方法や或いは遺伝子試験でこのような生物の遺伝子因子の相互作用を観る方法に基づくセンサーの製造能力

などである。このような能力を実現するのに使われる特殊な技術には次のような技術が含まれている。すなわち、①細胞培養或いは醗酵、②生物淘汰、③直線状又は橋かけ状生体高分子（バイオポリマー）を用いるカプセル包装やコーチング、④遺伝子工学、⑤生物学的に応答する変更遺伝子を用いる受動的或いは能動的予防注射或いは処置、⑥モノクロラール抗体の製造、⑦ゲノム（１つの細胞の中にある半数染色体とその中にある遺伝子とを合わせていう）データー・ベース、ポリメラーゼ連鎖反応装置、DNA 塩基配列決定装置（シークエンサー）及びジン・プローベの急速製造、⑧リンク状の遺伝子試験能力及び再生可能な方法によるアドレサブル・サイトでのモノクロラール抗体試験能力などである。

また、生物戦に関連する新しい技術が急速に出現している。

モノクロナル抗体の製造の技術は 1975 年以来只１つ存在していたが、１９８０年代になって以来遺伝子工学の技術が存在するようになった。生物のゲノムを順番に配列する技術は、劇的に変わり、配列の割合が１９９４年以来数桁違うほど大きく増大した。これらの

全てのものは情報データーベースの分野においても、またバイオテクノロジー、コンピューター装置、プロセス及び研究チームのネットワーク化の分野においても大きな変化があることを反映している。人間のゲノムの成果から出てくる情報は、色々のソースの病気やストレスに対する異なる人々の感受性への理解を増しているように見られる。また、この様な情報は、特に激しい民族紛争の地域では、BW 剤の拡散を増大させているかも知れないし、民族浄化の新しい形態に導いているかも知れないと言われている。

開発発展の急速な速度はこの技術の分野における国家及び国際的な投資をある程度反映している。1994 年の米国の全バイオテクノロジー分野における連邦予算のレベルは約 40 億米ドルであった。この投資と情報の増加割合は平和目的や軍事目的に使用することの出来るバイオテクノロジーが他の殆どの技術を越える割合で能力面において増加していることを示している。製薬工業は色々の異なった病気の予防や治療の改善のために新しい治療薬を目指してバイオテクノロジーに期待を懸けており、またこれらの新しい技術が潜在的な敵の手に渡らないようにしている。

現在は、次のような分野、すなわち、①モノクロナール抗体、②結合化学、及び③ジーン・プローベの分野が幾何級数的に発展している。

・モノクロナール抗体―1970 年代の初期に、コーレル（Kohler）とミルスタイン（Milsein）が単一な抗原性のエピトープ（抗原決定基＝epitope）のための抗体を作る手法を開発した。エピトープとは単一な抗体の 1 種を製造し始める分子の　領域である。エピトープの大きさ（ディメンジョン）は約 50×50 オングストロームの表面積である。これらの抗体はモノクロナール（monoclonal）抗体と呼ばれている。品質管理で、これらの抗体は高い再生の方法によりグラム単位の量で作ることが出来る。それ故、これらのものは工業的な用途に適している。最近、モノクロナール抗体を用いる工業には医療診断、食品、環境保護、及び化粧品等が含まれる。

・結合化学―これは大量のペプチド（二または二以上のアミノ酸が結合した化合物）、ポリヌクレオチド（ヌクレオチドが多数結合した核酸などの高分子物質）、或いは他の低分子量物質の急速な合成のための技術である。これらの物質は固体状態の基盤上で合成され、既知の配列の物質が容易に接近できるように扱い易い形で合成される。これらの物質はレセプター（受容体）、調合薬、或いはセンサー・エレメントとして機能することができる。１９７０年代にメリフィールド（Merrifield）により開発された技術は結合化学の発展に不可欠のものであった。

・ジン・プローベ ― これらは、厳しい条件下では、BW 剤の特性を持つ相補性の核

酸のフラグメントで、20～30 ユニットベンドをもつポリヌクレオチドである。これらのユニットは迅速な検知や確認を特徴づけるものである。

（3）生物兵器製造に使用される主要な機材・装置等

前項で生物兵器の製造について概観したが、この中で製造に使用される主要な機材・装置等を取り出してみたい。

生物剤の製造に含まれる工程には、生物剤の選択（BW 剤として関わりを持つ微生物や毒素の殆どは AG 合意により得られたものであるが)、少量の生物剤の初期培養から剤の大規模製造、及び生物剤の安定化が含まれる。

また、製造設備の設計は、その設備が医薬品的なグレードの製造物を製造しようとしているのか、それとも生物兵器のグレードの生物剤を製造しようとしているのかに関して重要な情報を与える。目的を持った設計の基本要素は、①封じ込め、②精製装置、③滅菌装置、及び④換気とろ過システムなどが重要であると見られている。

特に、攻撃的な軍事活動のための生物兵器（剤）の製造には、伝染性の性質を持つ剤から環境や身体を防護するために、製造プロセスの封じ込めが必要である。また、防衛的な軍事活動のために、ワクチン、BRM(生体応答調節剤)、抗体及び抗ウイルス剤のようなものの製造にも、その環境で汚染される資材から製造された生体材料を防護するための封じ込めが必要となる。

生物兵器（剤）の製造には、すべすべした、高度に磨き上げたステンレス鋼の表面をもった、自己封じ込め能力のある、かつ負圧の条件を含む、MCTL で確認された操業条件下での醗酵槽或いは単一セル製造能力が必要である。

生物兵器のための製造要件と非軍事的な民需目的のための製造要件との主な相違は「封じ込め」と「汚染防止」である。生物剤の兵器製造の間は、通常、生物剤による環境汚染を回避する努力が行われる。しかし、製造物の汚染については余り問題にしないが、逆に、医薬品、醸造やバイオテクノロジー工業では製造物の純度や品質の保護を最も問題視している。これらの問題は密閉式ジョイント、正圧又は負圧チャンバー及び通気システムの封じ込め、などの特性に関わるものである。また、人が関与する場合には、封じ込めには、清浄な蒸気、無菌の空気、不活性ガスの供給のできる施設が必要不可欠となる。また、換気装置の設計には、高い効率性を持つファンや HEPA フィルターなども必要になる。

上述して来たようなことから、生物兵器の研究・開発や製造に必要不可欠な主な機材や装置として、次のようなものが挙げられる。

① 高度な安全実験室

② 封じ込め装置

③ 製造装置―醗酵槽及び周辺設備

④ 精製装置―遠心分離機等

⑤ 滅菌装置

⑥ 換気とろ過システム

⑦ 安定化のための各種装置―凍結乾燥や超凍結のための機器等

⑧ 封じ込めと汚染防止―防護装置

この他、生物兵器に使用される各種機材は、分散及び散布のための機材　、検知、警報及び確認のための機材、生物防護システムのための機材等がある。

なお、ここでは、安定化のための機材は、生物兵器の製造の分野に入れて考えている。貯蔵や包装のために必要な剤の安定化の基本的な手段は、最初の濃縮である。すなわち、直接的な凍結乾燥、直接的なスプレー乾燥、特殊な安定化のための固体、液体、或いは時としてガス状の溶液への形成、急速凍結などである。濃縮の方法には、真空ろ過、限外ろ過、沈殿、及び遠心分離などが含まれる。特に、凍結乾燥法はバクテリア培養の長期間の貯蔵に優れた方法である。凍結乾燥培養の多くは、過去 30 年間、或いはそれ以上の間、成熟した方法として依然として使用されて来た。生物学的な生成物の急速凍結或いは極端な凍結（超冷凍）は、凍結乾燥が可能でない種類のものや材料に対する長期貯蔵技術の 1 つの方法である。この方法は液体窒素冷凍装置（摂氏ﾏｲﾅｽ 196 度）あるいは超低温機械的冷凍装置（摂氏ﾏｲﾅｽ 70 度）の中で容器に入れ、生成物の保存を行うものである。機械的な冷凍システムには予備的にバックアップされた凍結機と電気発電機が必要である。保存の間に細胞の生存能力を確保するために、ジメチルスルホオキサイド（dimethyl sulfooxide[DMSO]）、グリセロール、サッカロース、ラクトーゼ、グルコース、マニトール、ソルビトール、ﾃﾞキストラン、ポリビニールピロリドン、及びポリグリコールのような対冷却性剤が必要である。

ある毒素の BW 剤は一般的に凍結乾燥した粉末として準備され、カプセルに入れられる。伝染性の生物剤は一般的に安定化してからスプレー乾燥される。

また、これらの剤の効果的な運搬は剤に対する環境的な影響（不活性化）を考慮しなければならない。生物戦における生物剤の分散（運搬）はスプレー装置か或いは爆発装置（クラスター爆弾、広範囲に生物剤が散布されるように設計した子弾薬を持つミサイル弾頭等）に剤を混入する方法を用いてエアロゾル散布によって伝統的に行われてきた。しかし、後者の方法は、爆発により、熱を発生することが生物剤や毒素を不活性化するため、注意し

て取りかかる必要がある。好ましい方法は子弾薬に加圧したガスを使用して散布する方法であると言われている。

効率的な観点から、好ましい方法は、この他、小型の回転翼機に付けた装置、スプレー・タンクを装着した固定翼航空機・無人機、小型爆弾、巡航ミサイル、及び小型爆弾式弾頭を持つ高速ミサイルなどを利用する方法であろうと言われる。また、エアロゾル発生機を着けた固定翼航空機や地上車両も優れた分散システムを構成する。最近では、特に巡航ミサイルが、弾頭が余り熱を持たない（約 120℃）ため、優れた運搬手段であると見なされている。爆発による分散によって起る厳しい物理的条件が完全に生物剤を不活性化するので、スプレー装置を使用する生物剤のエアロゾル化が通常選択される方法となっている。（エアロゾル散布は、環境による品質低下等生物剤の防護を最大にしたり、標的とされる人間の肺の中で封入した生物剤の吸収を最大限にするため、粒子の大きさや密度の制御を考慮して行われる。）

直径１～15μｍのエアロゾル粒子は、殆どの生物剤の伝染のために、方式として最初に採用されたおおきさであり、吸入により肺の細胞に容易に吸収される。生物剤の中には、汚染された食品や水の摂取により効果を現わすものもある。一般的には、伝染性の生物剤は、そのままの状態では皮膚からは侵入しない。生物剤をエアロゾル散布で使用する器材には、圧縮されたガス（空気）で生物剤を完全なものとする兵器化のためのコンプレッサー、粒子又は液滴を散布できるスプレー・ノズルやエアロゾル散布システムが含まれる。

エアロゾルのデリバリー･システムの分散効率は 40～60 パーセントであると言われる。巡航ミサイル、投下型爆弾又はスプレー器材を装着した航空機、及びスプレー器材を装着したヘリコプターなどは、生物剤を運搬する送達手段の一般的なものである。爆発装置により生物剤を散布する方法は余り効果的ではない。１～５％以下であると言われる。

なお、ここで、生物兵器(剤)の研究・開発に必要な高度安全実験室の概要の 1 例をわが国の国立感染症研究所のバイオハザード；Ｐ－４を例に取って概説してみよう。

① わが国初の高度安全実験室―高度安全実験室の設計理念

国際伝染病（ラッサ熱、マールブルグ病等）などの危険度の高い疾病については、診断、予防及び治療方法を研究するに当たって、病原体が外部に漏れないように完全に封じ込め、安全に取り扱える施設が必要である。

わが国では、1979 年に東京都が、国の補助を受け、国際伝染病対策として、患者隔離施設（特殊感染症病棟）を建設し、その一環として高度安全実験室を完成した。

この設備は、米国に 2 ヶ所、英国、南ア連邦に各１ヶ所の計４ヶ所に次ぐ、世界で第 5 番目の施設で、わが国初のＰ－４レベルの高度安全実験室である。

この高度安全実験室の設計理念は次のようなもので、専門家の間ではＰ－４レベルと呼ばれる最も厳重な施設を備えており、基本的には以下の条件で造られている。

ａ．他の施設とは別の独立した建物または完全に隔離された区域とし、実験室の壁・扉を気密構造として、配管、配線などの貫通部を気密シール構造にしている。

ｂ．実験作業は、クラスⅢ安全キャビネット（グローブボックス形）で行う。

ｃ．実験施設内への機材の持ち込みは、パスボックスを通して行う。

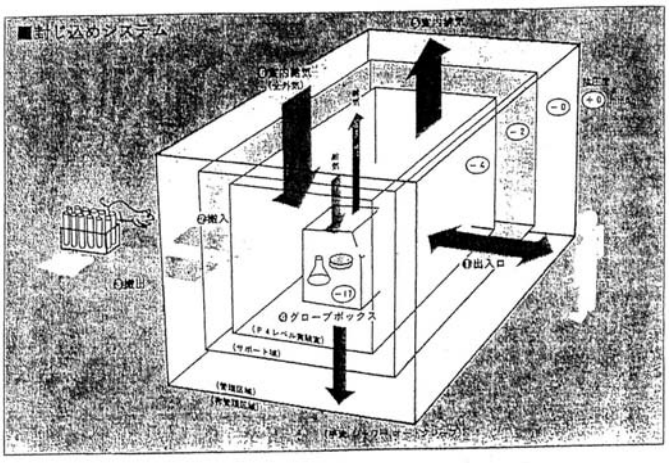
ｄ．実験室及び安全キャビネットは、外部に対して陰圧とし、給気系は HEPA フィルター1 層、排気系は HEPA フィルター２層を通して除菌滅菌する。

e. 実験室への出入りは、エアロック室、シャワー室、エアロック室を通じて行い、衣服を完全に着替え、また、退室時は、消毒用石鹸で全身を洗い、着替えてから外へ出る。

ｆ．実験室で使われた機材を室外へ出す場合は、総て両面オートクレーブにより高圧蒸気滅菌を行ってから搬出する。

ｇ．排水は、総て、加熱滅菌処理を施して排出する。

図Ⅲ-１には封じ込めシステムの１例を示した。



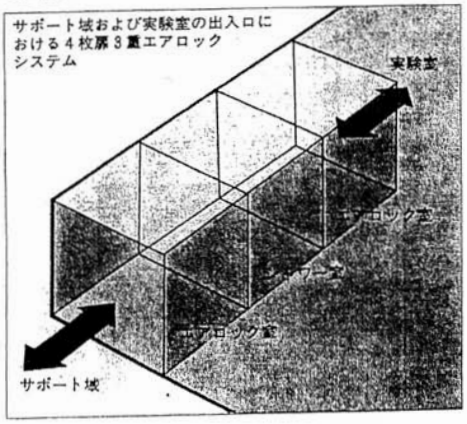
②．封じ込めシステムの特徴

図Ⅲ-２には封じ込めシステムの特徴を示した。

封じ込めシステムの特長

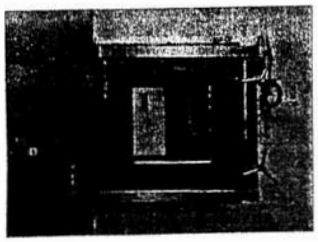
❶作業者出入口

４枚扉３重エアロック室で構成される作業者出入口は、インターロック機構の採用により、２枚の扉が同時に開くことはなく、完全に外部と遮断できます。



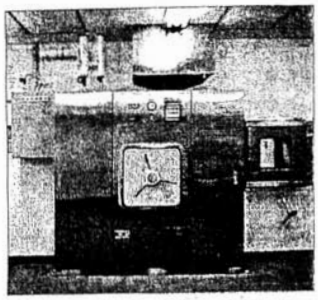
❷実験機材などの搬入

室内への実験機材や書類の搬入は、殺菌灯付のパスボックスを通じて行います。このパスボックスの２枚の扉についても、インターロック機構が備えられており、両方の扉が同時に開くことはありません。



❸使用実験機材の搬出

使用済の実験機材などは、総て、オートクレーブで高圧蒸気滅菌処理が施されたのち、室外へ搬出します。

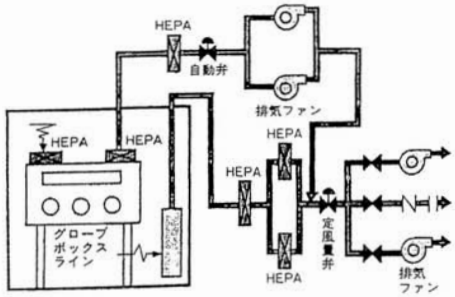


❹安全キャビネット

グローブボックス形の安全キャビネットは、完全気密チャンバになっています。内部は、常時－17mmAqに陰圧制御できるよう設計されており、その排気には、予備１台を含む２台の排気ファンが用意され、万一、１台が故障しても、自動的に切換ります。

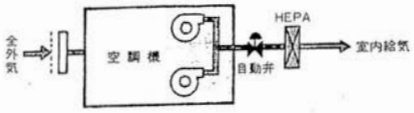
❺排気滅菌装置

安全キャビネットおよび、実験室内からの排気は、予備１台を含む２台の排気ファンで行い、滅菌は、２層構造の高性能除菌滅菌装置を使用します。使用済のHEPAフィルタは、フィルタチャンバ内で完全滅菌処理を施したのち交換します。



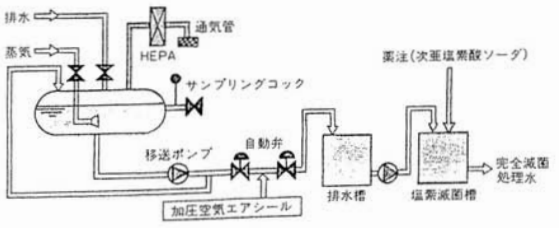
❻室内給気装置

全外気取入方式による室内への給気は、可変風量方式の空調機と超高性能のHEPAフィルタを介して供給され、室内がつねに陰圧になるよう自動制御されています。ここでも予備１台を含む２台のファンが使われています。



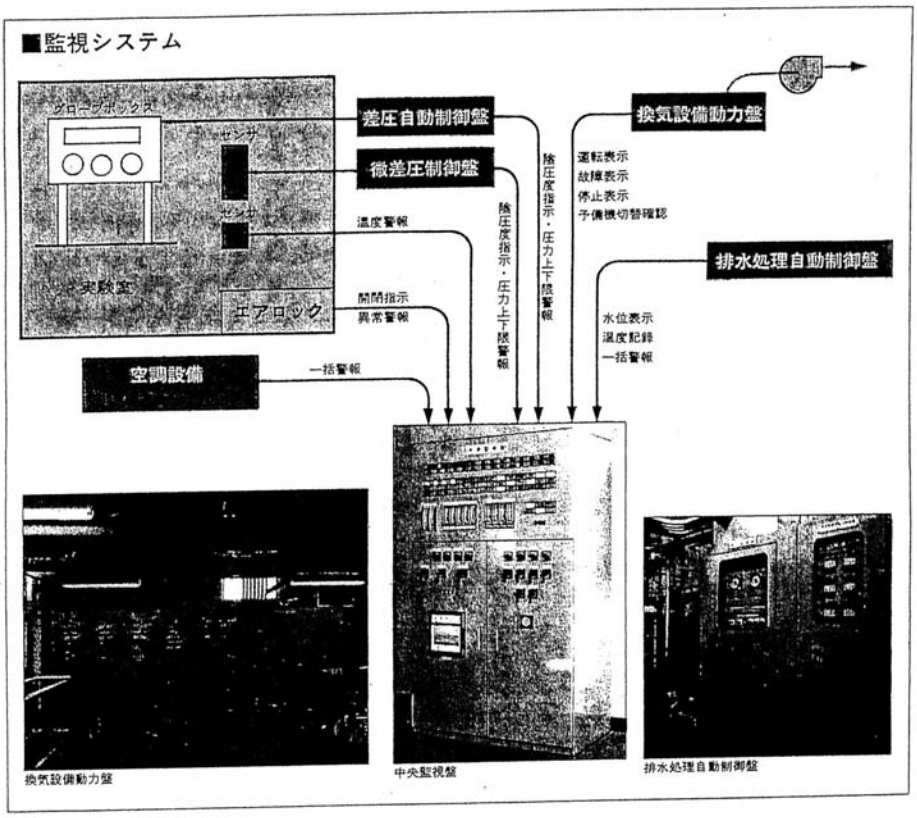
❼排水滅菌装置

室内で使用した水は、総て、蒸気滅菌槽で、121℃の蒸気を用いて処理します。処理は、バッチ方式のため、確実な処理が確認でき、さらに塩素滅菌処理を加える二段処理により、外部への危険は全くありません。



③監視システム

図Ⅲ－３には監視システムの１例を示した。



■総　工　費　８億円
■竣　　工　昭和56年３月
■建物延面積　1,112㎡
■所　在　地　〒208−0011武蔵村山市学園4−7−1（国立感染症研究所　村山分室）

２．　AG 等で規制されている器材・装置等

（１）AG で規制されている器材・装置等

オーストラリア・グループ（AG）は、生物兵器目的で使用される可能性のある装置パラメータを規定しているが、生物剤製造のための特別な装置はないとみなしている。

AG 生物兵器関連資機材製造設備規制リストでは、

①　Ｐ３又はＰ４レベルの物理的封じ込め設備

②　醗酵槽

③　遠心分離機

④　クロスフロー型濾過装置

⑤　凍結乾燥装置

⑥　封じ込め施設に組み込まれる設備

⑦　粒子状物質の吸入の試験用装置

の７機材が取り上げられ、この他に、生物装置注意喚起リストとして、

ａ．マイクロカプセル化装置

ｂ．３００リットル未満の醗酵槽

ｃ．HEPA フィルター

を挙げている。

これらの細部は次のようなものであるが、これは５年ほど前のもので、最近はその１部が修正されており、これについては後述する。

１．Ｐ３又はＰ４レベルの物理的封じ込め施設

WHO の実験室病原体安全指針（１９８３年、ジュネーブ）で特定されたＰ３又はＰ４（BL３，BL４，L３、L４）の基準に合致する物理的封じ込め設備は輸出管理の対象となる。

２．醗酵槽

エアロゾルを拡散することなく、病原性の微生物、ウイルス若しくは毒素製造のための培養ができる醗酵槽であって、次の特徴をすべて有するもの。

（ａ）容量が 300 リットル以上のもの；

（ｂ）封じ込めができる構造の二重又は多重シール継ぎ手をもつもの；

（ｃ）密封状態のままで滅菌ができるもの；

醗酵槽にはバイオリアクター（生物反応器）、サモスタット並びに連続流通式のものを含む。

３．遠心分離機

エアロゾルを拡散することなく、病原性微生物の連続分離が可能な遠心分離機であって、次の特徴をすべて有するもの：

（ａ）100　ｌ／ｈ以上の処理能力をもつもの；

（ｂ）表面が研磨されたステンレス鋼又はチタンで造られたもの；

（ｃ）封じ込めができる構造の二重又は多重シール継ぎ手をもつもの；

（ｄ）密封状態のままで、滅菌が可能なもの。

遠心分離機にはデカンターも含む。

４．クロスフロー型ろ過装置

エアロゾルを拡散することなく、病原性の微生物、ウイルス、毒素並びに細胞培養物を、連続分離するために、(特に) 設計されたクロスフロー型ろ過装置で、次の特徴をすべて有するもの：

（ａ）有効膜面積が延べ 5 ㎡以上のろ過面積をもつもの；

（ｂ）そのままで滅菌ができるもの。

ただし、膜モジュール単独ではこのクロスフロー型ろ過装置には該当しない。

５．凍結乾燥装置

（密閉状態のままでの）蒸気滅菌式の凍結乾燥装置であって、その凝縮器が 24 時間当たりの製造能力が 50ｋｇを超え 1000ｋｇ未満のもの（試験には水が使用され、試験圧力は 0.1torr とする。）

６．封じ込め施設に組み込まれる設備

Ｐ3 又はＰ4（BL3、BL４，Ｌ３，Ｌ4）レベルの封じ込め施設を構成又は含まれる設備であって次のもの：

（ａ）独立換気型全身又は半身防護服

（ｂ）生物学用クラスⅢ安全キャビネット、又はこれに相当する性能を有したアイソレーター

７．粒子状物質の吸入の試験用装置（エアロゾル吸入試験装置）

病原性の微生物、ウイルス若しくは毒素の試験用として設計されたエアロゾル吸入試験装置であって、1 立方メートル以上の容積をもつもの。

生物装置注意喚起リスト

専門家グループとして､次の品目を産業界に対して注意喚起することを提案する。

１．マイクロカプセル化装置

粒子径１～10μｍの生体微生物及び毒物をマイクロカプセル化する装置であって次のもの：

（ａ）内部多極凝縮器

（ｂ）相分離器

２．300　ｌ未満の醗酵槽

内容積 300　ｌ未満の醗酵槽が組み込まれた小型自動培養装置

３．HEPA フィルター

通常流式又は乱流式のクリーンルーム用のファンを内臓した HEPA フィルターで

あって、Ｐ３又はＰ４（BL３、BL４、Ｌ３、Ｌ４）レベルの封じ込め施設に使用可能なユニット。

最近、2002 年の AG 総会においてこれらの規制が次のように修正された。

１．Ｐ３又はＰ４レベルの物理的封じ込め設備

WHO の実験室病原体安全指針（1983 年、ジュネーヴ）が WHO の実験室病原体安全指針（第 2 版、ジュネーヴ、1993 年）に改定。

２．醗酵槽

次の特徴をすべて有するもの；

（ａ）容量が 300 ｌ以上のもの；

（ｂ）封じ込めができる構造の二重又は多重シール継ぎ手を持つもの；

（ｃ）密封状態のままで滅菌ができるもの。

が 「容量が 20 ｌ又はそれ以上のもの」に改定。

ロ．遠心分離機

変更なし。

４．クロスフロー型ろ過装置

文中の（ａ）有効膜面積が延べ５㎡以上のろ過面積をもつもの；が「有効ろ過面積の合計が１平方メートル以上のもの」に改定。

また、４の２として、「クロスフローろ過用の装置の部分品」として

「前号に掲げるものを使用するために設計された部分品であって、有効ろ過面が 0.2 平方メートル以上のもの」が追加された。

５．凍結乾燥機

蒸気滅菌式の凍結乾燥装置であって、その凝縮器が 24 時間当たりの製造能力が「50ｋｇを超え 1000ｋｇ未満のもの（試験には水が使用され、試験圧力は 0.1ｔｏｒｒとする。）」が「10ｋｇ超え 1,000ｋｇ未満のもの」に改定。

６．物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置

「Ｐ３又は Ｐ４（BL3、BL４、Ｌ３、Ｌ４）レベルの封じ込め施設を構成又は含まれる設備であって次のもの：

(a)　独立換気型全身又は半身防護服

(b)　生物学用クラスⅢ安全キャビネット、又はこれに相当する性能を有したアイソレーター」の（ａ）が、「物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置であって、連結式の外部空気供給型の全身防護、半身の衣服を防護する、

又防護用フードであって、その内部を陽圧に維持することができるもの」に改変。（ただし、自己封じ込めの呼吸装置を装着した衣服の規制は含まれていない。）

また、（ｂ）が具体例として、軟膜式アイソレーター、ドライボックス、嫌気性チャンバー、グローボックス及びラミナ気流式フード等として例示された。

７．粒子状物質の吸入の試験用装置

変更なし。

この他、専門家グループとして、産業界に対して注意喚起する生物装置注意喚起リストの部分では、２．の醗酵槽が「300 l」から「100 l」未満の醗酵槽が組み込まれた小型自動培養装置に改変されている。

（２）米国の CIA レポートに示された生物兵器関連資機材製造設備規制リスト

1995 年に報告された CIA レポート（The Chemical and Biological Warfare Threat）では、生物剤として潜在的に応用される可能性のある微生物等の他に、次に示したように、ＡＧで規制された器材・装置等とほぼ同じ内容の 7 つの主要機材と 3 つの生物装置注意喚起リストが挙げられている。

１．Ｐ３／BL３、Ｐ４／BL４レベルの物理的完全封じ込め施設

Ｐ３又はＰ４封じ込めに見られる完全封じ込め施設（WHO 実験室生物安全マニュアルに規定）

２．培養槽

（ａ）300 リットル又はそれ以上の容量のもの；

（ｂ）研磨ステンレス鋼、ホウケイ酸ガラス、研磨アルミニウム（又はプラスチック／他の非腐食性物質）製のもの；

（ｃ）蒸気封じ込め区域中の二重又は多重の密閉接合箇所をもつもの；

（ｄ）密閉状態でその場で滅菌ができるもの。

３．遠心分離機

（ａ）1 時間当たり 100 リットル以上の処理能力をもつもの；

（ｂ）研磨ステンレス鋼又はチタンで造られたもの；

（ｃ）蒸気封じ込め区域中の二重又は多重の密閉接合箇所をもつもの；

（ｄ）密閉状態でその場で滅菌ができるもの。

４．凍結乾燥機

24時間で50ｋｇ以上又は1000ｋｇ以下の氷の凝縮能力のある蒸気滅菌可能凍結乾燥機。

５．クロスフローろ過器

エアロゾルの発生なしに病原性微生物、毒素、培養液の連続分離のできるクロスフローろ過器で、下記の条件を持つもの；

（ａ）５平方メートル又はそれ以上のろ過面積を持つもの；

（ｂ）その場で滅菌ができるもの。

６．Ｐ３又はＰ４封じ込め設備に組み込まれる器具

（ａ）個々に換気された半身または全身保護衣

（ｂ）クラスⅢ安全キャビネットまたは同等の機能を持つアイソレーター

７．エアロゾル吸入実験装置

病原性微生物、又は毒素のエアロゾル吸入実験を行うための１立方メートル又はそれ以上の容量を持つ箱。

この他、生物兵器関連機材の注意喚起リストとして次の機材が挙げられている。

１．1～10 μｍの粒子サイズ範囲での生きた微生物や毒素の微少包み込みを行う装置；

（ａ）界面重縮合器

（ｂ）位相分離機

３．300リットル以下の培養槽で特に集中順に重点を置いたもの又は複合系で用いられるもの。

４．通常空気又は乱流クリーンエア室とＰ３又はＰ４封じ込め施設で用いられる組み込みファンHEPAフィルター装置。

３．その他の規制可能な資機材

ハ．大量破壊兵器等の開発等に用いられるおそれの強い貨物例

平成15年4月14日付けで我が国の経済産業省貿易協力局より、平成15・04・01貿局第２号「大量破壊兵器の開発等に用いられるおそれの強い貨物例について」が公表された。

貨物例として合計30の貨物名が次のように列挙されている。

品目	懸念される用途
１．リン酸トリブチル（TBP）	核兵器
２．炭素繊維・ガラス繊維	核兵器、ミサイル
３．チタン合金	核兵器、ミサイル
４．しごきスピニング加工機	核兵器、ミサイル
５．数値制御工作機械	核兵器、ミサイル
６．アイソスタチックプレス	核兵器、ミサイル
７．フィラメントワインディング装置	核兵器、ミサイル
８．周波数変換器	核兵器
９．質量分析計又はイオン源	核兵器
10．振動試験装置	核兵器、ミサイル
11．遠心力釣り合い試験器	核兵器、ミサイル
12．耐食性の圧力計・圧力センサー	核兵器、ミサイル
13、電圧又は電流の変動が少ない直流の電源装置	核兵器
14．大型の真空ポンプ	核兵器
15．耐放射線ロボット	核兵器
16．TIG 溶接機、電子ビーム溶接機	核兵器、ミサイル
17．放射線測定器	核兵器
18．微粉末を製造できる粉砕器	ミサイル
19．人造黒鉛	核兵器、ミサイル
20．ジャイロスコープ	ミサイル
21．ロータリーエンコーダ	ミサイル
22．大型トラック（トラクタ、トレーラーを含む）	ミサイル
23．密閉式の醗酵槽	生物兵器
24．遠心分離器	生物兵器
25．凍結乾燥機	生物兵器
26．耐食性の反応器	化学兵器
27．耐食性のかくはん機	化学兵器
28．耐食性の熱交換器又は凝縮器	化学兵器

29. 耐食性の蒸留塔又は吸収塔　　化学兵器

30. 耐食性の充てん用の機械　　化学兵器

このうち 23.「密閉式の醗酵槽」、24.「遠心分離器」、25.「凍結乾燥機」の 3 つのかもつは生物兵器製造に関係する貨物である。したがって、これらはたとえ仕様から見てリスト規制品目として該当していなくても、キャッチオール規制の中で特に注意を要する貨物であるので、キャッチオールの趣旨に鑑みて、エンドユース、エンドユーザーなどを確認して問題がないかなどを慎重にチェックすべきであるとされている。

4．我が国の法令で規制されている生物兵器関連資機材等

我が国の輸出管理令別表第 1 の 3 の 2 の項（2）には軍用の細菌製剤の開発又は製造に用いられる装置であるもののうち経済産業省令で定める仕様のものとして、次の 7 つの貨物がその対象になっている。これらの貨物は、前（3）項でのべた AG 規制の装置・機材や米国の CIA レポートの装置・機材とほぼ同じ装置・機材である。

① 物理的封じ込めに用いられる装置、

② 醗酵槽

③ 遠心分離機

④ クロスフローろ過用の装置

⑤ 凍結乾燥機

⑥ 物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置

⑦ 粒子状物質の吸入の試験用の装置。

省令の第 2 条の 2 において、これらの仕様のものは次のいずれかに該当するものが規制されることとなっており、次のように決められている。

1．物理的封じ込めに用いられる装置であって次のいずれかに該当するもの

ニ．物理的封じ込めレベルがＰ３又はＰ４である施設用の装置

ホ．クラス Ⅲ 安全キャビネットの有する物理的封じ込めの機能と同等の機能を有するアイソレーター

2．密閉式の醗酵槽であって、容量が 100 リットル以上のもの。

3．連続式の遠心分離機であって、次の全てに該当するもの

イ．流量が 1 時間につき 100 リットルを超えるもの；

ロ．研磨したステンレス鋼又はチタンで構成されたもの；

ハ．二重以上のメカニカルシールで軸封をしているもの；

ニ．定置し、かつ、閉じた状態で蒸気により内部の滅菌をすることができるもの。

４．クロスフローろ過用の装置であって、次のイ及びロに該当するもの

イ．有効ろ過面積の合計が 5 平方メートル以上のもの；

ロ．定置した状態で内部の滅菌をすることができるもの。

５．凍結乾燥機であって、次のイ及びロに該当するもの

イ．24 時間につき 50 キログラム超 1,000 キログラム未満の氷を作る能力を有するもの

ロ．蒸気により内部の滅菌をすることができるもの。

６．物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置であって、換気用の装置を有する衣服であるもののうち、その内部を陽圧に維持することができるもの

７．粒子状物質の吸入の試験用の装置であって、吸入室の容積が１立方メートル以上のもの

前述の、我が国の輸出令別表第１の３の２項（二）の７つの装置や機材は、省令第 2 条の２で、その該当する範囲がかなり狭められており、エンド・ユーザーの使用目的や意図を証明する Know 規制やキャッチオール規制の導入により、これらの機材の拡散防止の一助になるものと見られているが、(財）安全保障貿易情報センター（CISTEC）では、省令第 2 条の 2 に該当する資機材について、生物兵器製造関連資機材の輸出管理品目ガイダンスを出版して省令の解説を行い、これらの資機材に関連する色々の情報（資機材の分類、規制対象、構成など）を提供して分かり易く解説している。

その具体例の一例を例えば、次のように解説している。

軍用の細菌製剤の開発・製造に用いられる可能性のある装置等

１．物理的封じ込めに用いられる装置

ア．物理的封じ込めのレベルがＰ３又はＰ４である施設用の装置

○危険度群とバイオセーフティーレベル、安全対策、安全装置との関係

（Ｐ３又はＰ４レベルの装置が輸出規制の対象）

危険群	ﾊﾞｲｵｾｰﾌﾃｨﾚﾍﾞﾙ	実験室応用例	実験室の運営	安全器具
1	レベル１ （Ｐ１）	基礎教育機関	ＧＭＴ	無 開放型実験台

2	レベル２ （Ｐ２）	基本的衛生施設 一般病院 臨床検査室 医学教育施設 公衆衛生検査室	ＧＭＴ 保護衣着用 バイオハザード標示	開放型実験台 エアゾル対策として安全キャビネットの使用
3	**レベル３ （Ｐ３）**	**特別検査室 遺伝子組換え実験室**	**レベル２に加え専用保護衣着用 立入制限 指向性気流の確保**	**安全キャビネット及び/又は全ての実験操作用安全器具の使用 空気清浄用ﾌｨﾙﾀｰ使用**
4	**レベル４ （Ｐ４）**	**特殊病原体取扱い室**	**レベル３に加え エアロックによる入室、退室時のシャワー、特殊廃棄物処理を行う。**	**クラスⅢ安全キャビネット又は陽圧スーツ使用面オートクレープ、空気清浄用フィルターの使用**
ＧＭＴ：微生物学的研究に関する安全基準				

ＧＭＴ：Good Microbiological Technique

○施設用の装置に組み込まれる装置の例

装置、器具	生菌 BW	毒素 BW
ア．醗酵槽及び周辺設備	必要	必要
イ．密閉連続遠心分離機	必要	必要
ウ．菌体破砕機	不要	場合により必要
エ．抽出装置	不要	場合により必要
オ．菌体ろ過器	場合により必要	必要
カ．凍結乾燥装置	必要	必要
キ．マイクロカプセル化装置	必要の時あり	必要の時あり
ク．微生物封じ込め安全キャビネット	必要	必要

ケ．その他の付属装置・機材

（ア）バイオクリーンエアシステム

・プレフィルター

・HEPA フィルター

・排気用フィルター

・調湿装置付エアコン

（イ）室内無菌維持及び封じ込め施設

・両扉型オートクレーブ、エアシャワー、バスボックス

・排水殺菌タンク

・廃棄物焼却炉

（ウ）防護服

・無塵作業衣、空気供給装置付実験防護衣

（エ）培地、消泡剤、殺菌用界面活性剤

など。

コ．クラスⅢ安全キャビネット（密閉型）

イ．クラスーⅢ 安全キャビネットの有する物理的封じ込めの機能と同等の機能を有するアイソレーター

例；軟膜陰圧アイソレーター

これらはすべて民生用と兵器用で仕様上なんら差がない。従がって、民生用の設備を兵器用に容易に転用し得る。

２．醗酵槽

密閉式の醗酵槽であって、容量が 100 リットル以上のもの

○醗酵槽又は培養槽はバイオリアクター（生物化学反応器）の１種と見られる。バイオリアクターは、日本では醗酵／培養槽と固定化生体触媒リアクターとを分けて呼ぶことが多い。

① 構造による分類 － ・膜型バイオリアクター
・充填層膜型バイオリアクター
・流動層型（醗酵槽型）バイオリアクター

② 密閉、非密閉による分類 － ・非密閉型醗酵槽
・密閉型醗酵槽
・完全密閉型醗酵槽

③ 攪拌方式による分類 － ・機械攪拌型
・ガス攪拌型
・ポンプ循環攪拌型

④ 生物培養に必要な装置：醗酵槽、滅菌装置、遠心分離機、フィルター、制御 装置等

ア．醗酵槽の構成部品等

・冷却ジャケット付き密閉容器

・攪拌軸及び攪拌翼

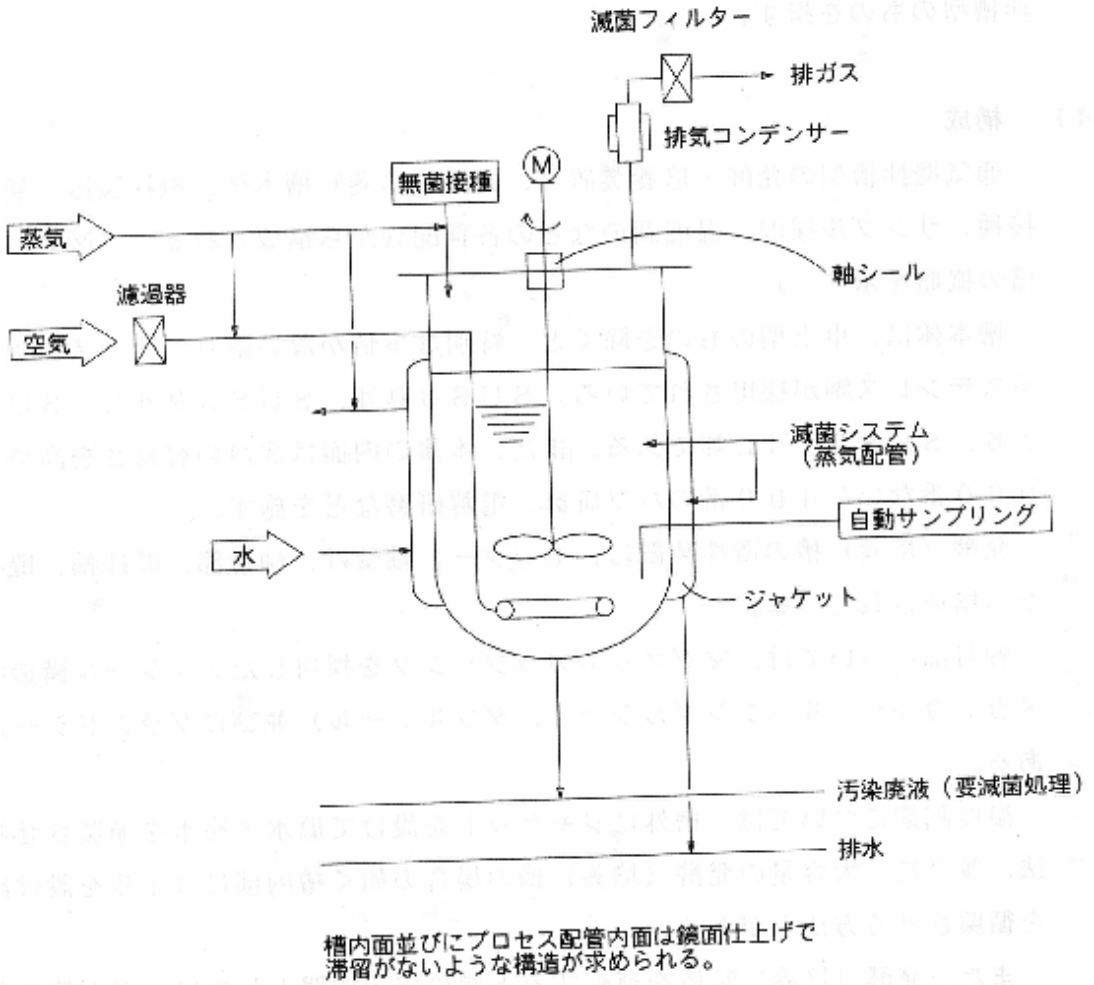
・吸気ライン

・排気ライン

・殺菌装置

・計測制御装置

図Ⅲ－４には醗酵槽の概略の一例を示した。



イ．周辺設備

・培地調整槽

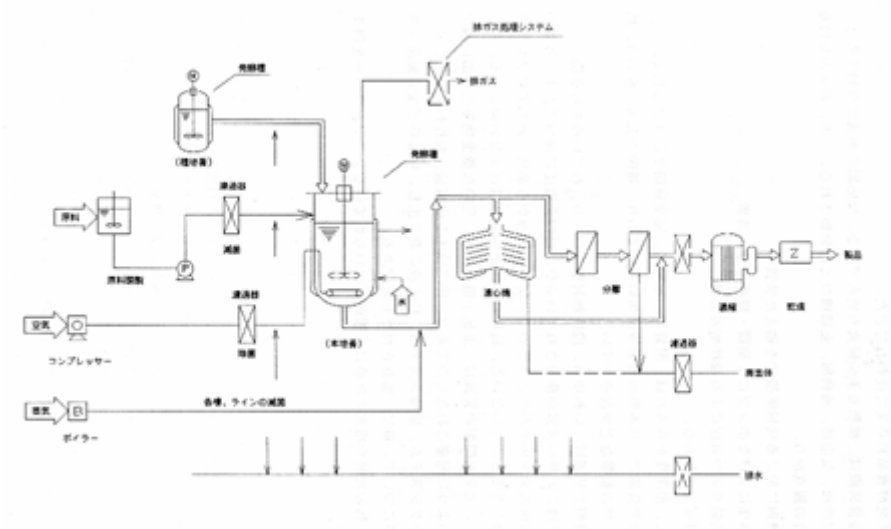
・吸気除菌ろ過ユニット

・排気除菌ろ過ユニット

・エアコンプレッサー

・ボイラー等

図Ⅲ－５　に醗酵槽廻りのシステムフロー図の一例を示した（2000 年ガイダンスより転載）



３．遠心分離機

連続式の遠心分離機であって、

イ．流量が１時間につき 100 リットルを超えるもの

ロ．研磨したステンレス鋼又はチタンで構成されたもの

ハ．二重以上のメカニカルシールで軸ふうじをしているもの

二．定置し、かつ、閉じた状態で蒸気により内部の滅菌をすることができるもの

○遠心分離機にはデカンターを含む。

① 形式による分類　－　・円筒型

・分離板型

・デカンター型

② 遠心加速度による分類　－　容量は５リットル以上のもの

ア．遠心加速度１0000rpm クラスのもの

イ．遠心加速度 20000rpm クラスのもの

○規制対象

連続式の遠心分離機としては、以下の項目に対する設計仕様、すなわち、図面、カタログ等により、メーカーの保証する値などで判定する。

エアロゾルの伝播をせずに、病原性微生物の連続分離が可能で、下記の特徴をすべてもつ遠心分離機を規制する。

① 遠心分離機の流入口での流量が 100　l /h 超のもの

② 研磨されたステンレス鋼又はチタンで構成されたもの

③ 蒸気封じ込め範囲内に二重以上の複数のシーリング継手があるもの

④ 閉じた状態で、定置蒸気滅菌が可能なもの

5．クロスフローろ過用の装置

次のイ、ロに該当するもの

イ．有効ろ過面積の合計が 5 平方メートル以上のもの

ロ．定置した状態での内部の滅菌をすることができるもの

〇分類

a.ろ過レベルによる分類

① 粗ろ過（一般ろ過）

② 精密ろ過（MF）

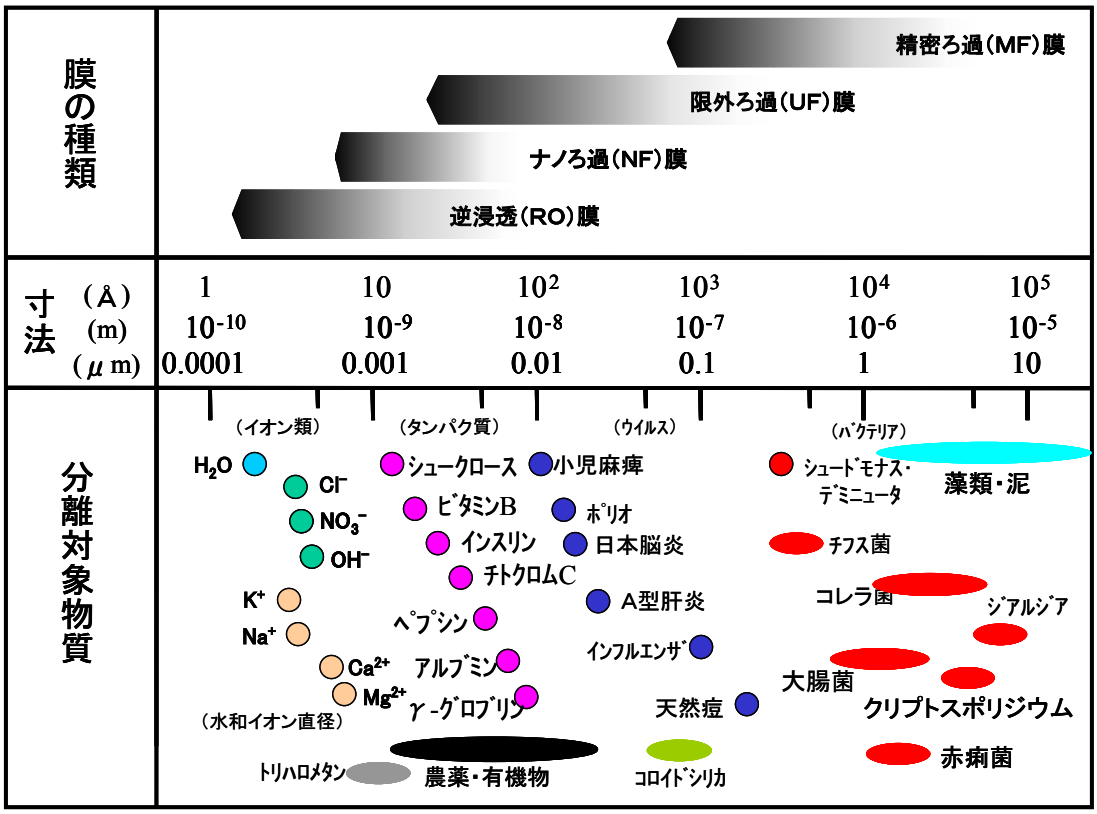
③ 限外ろ過（UF）

④ ナノろ過（NF）

⑤ 逆浸透（RO）

これ以外に膜を用いる分離方法として透析膜を用いる方法、イオン交換膜を用いる方法などあるが、クロスフローという概念の範囲外である。

図Ⅲ－６にはろ過法とろ過対象物質の大きさの関係を示した（ガイダンスより転載）



ｂ.ろ過方式による分類

大きく分類して２種類ある。

① 全量ろ過

② クロスフローろ過

b. 膜種による分類

①平板型モジュール

②チューブ型モジュール

③ スパイラル型モジュール

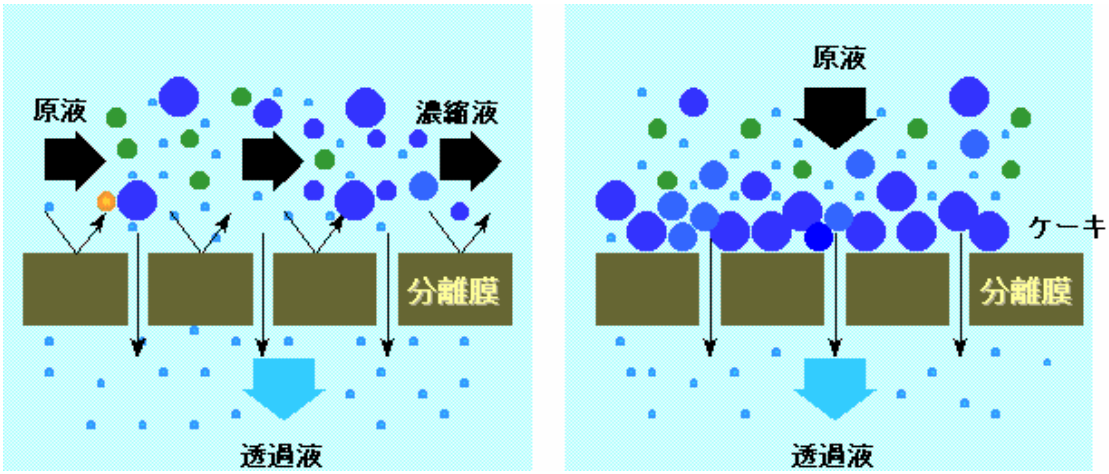
④ 中空糸型モジュール　　等がある。

c. 商品形態における分類

① モジュール型；１本（又は１枚）以上の膜を容器に納め一本化したもの。

②カートリッジ型；エレメント型と同義。　ろ過装置自体に容器を取り付け、膜を組み込んでなるエレメントを容器に入れ込み用いる容器―膜部が独立しているタイプ。ろ過使用時は見かけ上モジュール型と変わらない。

図Ⅲ－７にはろ過方式の原理を示した（ガイダンスより転載）。



６．凍結乾燥器

次のイ、ロに該当するもの

イ．24 時間につき 50 キログラム超 1,000 キログラム未満の氷を作る能力を有す

ロ．蒸気により内部の滅菌をすることができるもの

○通常の構成　－　次の①～⑥によりなる。

① 乾燥室（棚段を内臓する真空槽）

② 棚段を冷却加熱する熱媒流体循環系

③ 昇華水蒸気を氷結する凝縮器（真空槽内設）とその冷凍設備

④ 槽排気用真空ポンプ系

⑤ 対象材料のハンドリング系（容器への材料分注、搬入出、密栓、他）、槽内洗浄・滅菌系

⑥ 計装制御系

○用途上の種類　　市販品の棚面積（平方メートル）例：

① 実験室用装置　－　（含、菌株保存用）（0.1～1.0）

② 医薬品製造用装置　－　（含、ワクチン）（１～40）

③ 食品製造用装置　－（含、乳酸菌、災害時非常食、戦場食）（30～300）

○装備上の種類

① 広義の凍結乾燥工程（材料の予備凍結から密封まで）機能を備える。

② 狭義の凍結乾燥工程（既凍結材料内氷結晶の昇華）機能のみ。

○材料ハンドリング上の種類

① 材料容器／棚段方式（連続、及びバッチ）

② 材料／乾燥槽直接投入方式（連続、及びバッチ）

③ 材料封じ込め方式（バッチ）

○危険物を取り扱う装置の特徴

対象材料のハンドリング系の自動（リモコン）化（ないし隔離服）、及び定置洗浄・滅菌（CIP、SIP）、排気処理、水蒸気凝結器の除氷ドレーン処理の特殊仕様が加えられている。ただし、医薬製造 GMP、注射製剤用の装置にも近年同様の装備に進みつつあり、生物兵器製造装置との区別は困難（コンタミ防止）

7．陽圧防護服

物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置であって、換気用の装置を有する衣服であるもののうち、その内部を陽圧に維持することができるもの。

○種類

この換気加圧服の換気装置は、

（a）エアラインマスク型 － ・一定流量形エアラインマスク
・デマンド形エアラインマスク
・プレッシャーデマンド形エアラインマスク

（b）自給方式（電動ファン付呼吸保護具型）
・空気呼吸器（プレッ シャーデマンド形、デマンド形）
・開放式酸素呼吸器（プレッシャーデマンド形、デマンド形）
・循環式酸素呼吸器
・酸素発生型循環式酸素呼吸器

（c）その他 － ・換気加圧服
・Ｐ４スーツラボ用安全服
（安全服用空気供給ホース及びフィルタ）
・陽圧フード
・全面防護マスク
・半面防護マスク など・

エアラインマスク型は、圧縮空気管、高圧空気容器、空気圧縮機などからの　　圧縮空気を中圧ホースなどを通じて着用者に送気する形式の構造のもので、防護服の内部を陽圧に維持するものに限られる。

８．エアロゾル吸入試験装置

粒子状物質の吸入の試験用の装置であって、吸入室の容積が１立方メートル以上のもの

○使用目的

① 医薬品、農薬品の薬理試験

② 医薬品などの安全性試験

③ 化学物質の毒性試験

④ ウイルスなどの感染試験

⑤ 放射性物資の投与試験

⑥ 吸入代謝試験

○吸入室の容積

実験動物を収容し粒子状物質を充満するための容器の体積であり、これには清浄空気作成部や排気、廃液分離部などの容積は含まない。

○吸入試験装置の分類

① 暴露方式による分類 － ・全身暴露方式（暴露チャンバー）
・頭部暴露方式

② 暴露期間による分類 － ・急性吸入試験
・亜慢性吸入試験
・慢性吸入試験

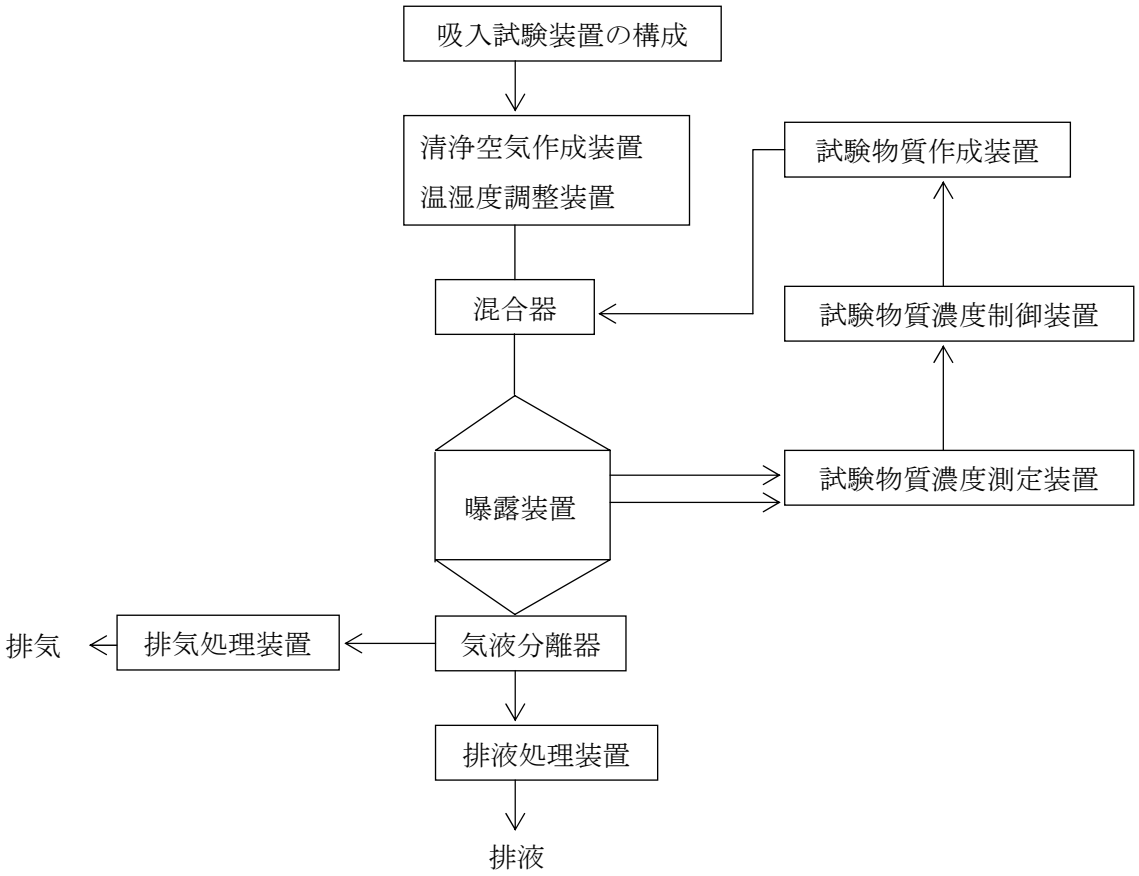
③ 換気方式による分類 － ・閉鎖方式
・ 流動方式

④ 被験物質の種類による分類 － ・ガス、蒸気状物質
・粒子状物質

○　吸入試験装置の構成

吸入試験装置の基本的な構成要素は、実験動物を収容して吸入物質を暴露する暴露チャンバーを中心として、吸入物質の作成供給装置、給気処理装置、排気処理装置、監視記録装置などの組み合わせによりシステムが造られる。

図Ⅲ－８ に吸入試験装置の構成例を示した。



5．規制基準に関する考え方

輸出管理との関連において、生物兵器は 2 つの関連分野に分けることができる。

その 1 つは生物兵器となり得る剤であり、もう 1 つはこれらの生物剤を製造する関連資器材である。本報告書では生物兵器の規制基準について検討を加えようとするものであるが、この章では、後者の生物兵器製造関連資器材がどのような考え方に基づいて規制されてきたのか、その妥当性がどうかなどを考察して現在の規制基準のあり方を検討するものである。

生物兵器は化学兵器と異なり、生物兵器の製造のためには特別な装置や資材は必要ないと言われている。すなわち、全てがデュアルユースの資器材や装置で製造できると言われてきた。本章では、現在なぜ 7 つの装置や器材が規制されているかを理解する必要上、先ず、生物兵器の開発・製造の関連資機材にはどの様な物があるかを把握するために、①大学・研究所等で使用される資機材、②民需産業で使用され

る資機材を概観し、次いで、生物兵器の製造について概観して、その中で重視される資機材を分析した。

その結果、製造のためには、例えば、すべすべした、高度に磨き上げたステンレス鋼の表面を持った、自己封じ込めの能力のある、かつ負圧の条件を含む、MCTLで確認された操作条件下での醗酵槽或いは単一セル製造能力が必要であることが明らかになった。また、生物兵器のための製造要件と非軍事的な民需目的のための製造要件との主な相違は、「封じ込め」と「汚染」にあること等も明らかになった。

また、本章（１）のウ項では、生物兵器製造に使用される主要な機材・装置等について可能な範囲で抽出した。これらの分析を基に、（２）では、ＡＧや米国の CIA 報告書に提案されてきた規制機材や注意喚起リストを概観したのち、（３）では、最近、我が国の経済産業省でだされた注意貨物、30 品目の中の生物兵器関連資機材について触れた後、（４）で現在省令で規制されている機材等についてその細部について概観した。

これらの概観及び分析は、生物兵器製造関連資機材の規制基準を考察する上で重要な示唆を与えるものである。ここでは、これらの知見を基に規制基準について検討してみたい。

（１）生物兵器関連資機材の特徴

これまで生物兵器の開発・製造に使用される可能性のある資機材や装置等について分析・検討してきたが、ここで改めてこれらの機材等の特徴について纏めてみたい。

○生物兵器（剤）研究開発・製造等の関連資機材の特徴

①生物兵器製造関連資機材はすべてデュアル・ユース資機材である。これらの資機材は、製薬、食品、化粧品及び殺虫工業等で応用されている。

②生物兵器は比較的安価に製造できる。

③製造設備の設計は、その設備が医薬品的なグレードの製造物を製造しようとしているのか､それとも 生物兵器のグレードの生物剤を製造しようとしているのかに関して重要な情報を提供する。目的を持った設計の基本要素には、①封じ込め、②精製装置、③滅菌装置、④換気とろ過システムなどが重要である。

④バイオケミカルの製造・プラントの設計は、秘密裏に行おうとする生物兵器（剤）製造の重要な兆候である。特に、製造の間における生物剤の封じ込めは特別に重要な問題である。

⑤生物兵器（剤）の製造には、すべすべした、高度に磨き上げたステンレス鋼の表

面を持った、自己封じ込め能力のある、且つ負圧の条件を含む、醗酵槽或いは単一セル製造能力が必要である。

⑥生物兵器のための製造要件と非軍事的な民需目的のための製造要件との主な相違は「封じ込め」と「汚染」にある。

これらの特徴を考慮して、数多いバイオ関連資機材の中から（２）項や（3）項で指定されているような装置や機材が特に選ばれて規制されることとなったものと見られる。

一方、AG 等で規制されている機材をみると、軍用の細菌製剤の開発又は製造に用いられる装置として、①物理的封じ込めに用いられる装置、②醗酵槽、③遠心分離機、④クロスフローろ過用の装置、⑤凍結乾燥機、⑥物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置、⑦粒子状物質の吸入の試験用の装置が規制の対象となっている。これらの装置は軍用の細菌製剤の製造設備として利用される可能性が強いことを考慮し、軍用の細菌製剤の開発又は製造に用いることの出来るものが規制の対象となり、具体的には、その範囲を限定することにより、例えば、日本の場合、省令で定める仕様を満たすものが対象となっている。

これらの装置は、大きく分けると主として開発に用いられる資機材や装置と主として製造に使用される資機材に大別される。

① の物理的封じ込めに用いられる装置は、主として開発や製造に使用される装置であって、危険な病原体や未知の遺伝子を取り扱う分野において、病原体の拡散や実験室感染危険を防止するための取り扱いと実験設備の安全基準を定め危険の隔離を行おうとする、バイオハザード対策の１つである。病原体及び遺伝子組み換え等の実験（開発、製造）は、その安全を確保するために実験（開発、製造）の安全度評価に応じて物理的封じ込め及び生物的封じ込めの 2 種類の封じ込め方法を組み合わせて行われる。

物理的封じ込めの目的は、病原体及び遺伝子の組み換え体を施設・設備内に閉じ込めることにより、実験従事者その他のものへの伝播及び外界への拡散を防止することにある。

WHO の実験室バイオセーフティ指針（第 2 版；1993、ジュネーブ）で特定されたＰ3 又はＰ4 の基準に合致する物理的封じ込め装置が輸出規制の対象になっており、次のものが規制されている。

① Ｐ3 又はＰ4 レベルの物理的封じ込めに用いることができる装置

② クラスⅢ安全キャビネット

③ クラスⅢ安全キャビネットと同等の機能を有するアイソレーター

② の醗酵槽とは、狭義には醗酵タンクそのものを指すが、広義には、醗酵槽を組み込んだ醗酵或いは培養装置全体を指すものと見られる。醗酵或いは培養装置は、研究や工業的利用を目的として、生物細胞又は組織が育成するための、或いは、その生物体が特定の有用物質を生産するための環境を人為的に提供するためのものであり、その有用生物体が純粋に増殖するため、その他の生物体による汚染（雑菌汚染）の排除が考慮された装置である。醗酵・培養装置は、実験室の卓上レベルから工業的生産レベルまで種々の段階のものがあり、通常全容積にして数百ｍｌから数百㎥のものが、その規模に応じた用途に用いられている。このうち、雑菌の汚染並びにエアロゾルの飛沫拡散を排除し、目的の生物体の純粋培養、或いは、その生物体が特定の有用物質を純粋に生産するための密閉された装置で、槽の全容量が 100 リットル以上のものが規制されている。

③ の遠心分離機は、遠心力により沈降、ろ過、水切りを行う（それぞれ遠心沈降、遠心ろ過、遠心脱水）装置を総称して呼ばれるが、ここでは、円筒形の容器（ロータ）を高速回転させ、その仲に試料を連続的に流入させて容器内で微細粒子の分離を大量に処理する装置が規制されている。連続遠心分離機は試料の連続遠心処理を行う装置であり、製薬の分野でインフルエンザ、日本脳炎、肝炎等のワクチンの生産に用いられている。

④ のクロスフローろ過用の装置は、スラリー中に懸濁している不溶解物質、もしくは溶解している物質を膜を用いてろ過分離するにあたり、クロスフロー方式のろ過が可能なろ過装置を指しており、これを規制しようとするものである。クロスフローろ過は、一般的に全量ろ過（DEAD－END ろ過）に対する言葉として用いられるが、その定義は供給液を膜面に沿って流し、透過液が供給液の流れに対し直角方向に流れるろ過方法である。規制されているのは、①有効ろ過面積の合計が５平方メートル以上のもの及び定置した状態での内部の滅菌をすることができるものに該当するものである。

⑤ の凍結乾燥機は、処理対象材料の凍結状態を保持しうる限度に、同材料への入熱を制御し、材料中の水分を氷結晶から直接気化（昇華）させて、昇華水蒸気を材料周辺から除することにより、低含水率の固形状の製品を得る装置であって、これを規制するものである。通常は内部に冷却・加熱制御系付の棚段を配置した真空槽を主要部とし、真空（減圧）下の材料気化温度の低下を利用して凍結を保持し、昇華水

蒸気は真空下の凍結面（凝結器：コンデンサー）に凝結させて、真空を維持する。規制されているのは、凍結乾燥器であって、①24 時間につき 50 キログラム超 1,000 キログラム未満の氷を作る能力を有するもの及び蒸気により内部の滅菌をすることができるものに該当するものである。

⑥ の物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置では、換気用の装置を有する衣服（全身又は半身換気加圧服）であるもののうち、その内部を陽圧に維持することができるものが規制されている。

⑦ の粒子状物質の吸入の試験用の装置では、吸入室の容積が 1 立方メートル以上のものが規制されている。エアロゾル吸入（実験）装置は実験動物などを使用して、吸入物質を主として経気道で投与し、その生体影響の研究を目的とした装置であり医薬品の安全性試験を始めとして、農薬品の毒性試験や労働環境中に存在する各種の化学物質の毒性試験などに広く使用されている。また、最近では大気汚染物質の研究や吸入感染実験、放射性物質の投与実験などにも応用され、使用分野も益々広がっている。

ここで挙げられた 7 つの機材は、上述のようにそれ自体でもかなり広い分野で民需面で利用されているが、実際には相当限定して規制されているのが実態である。

これまで概観してきたように、生物兵器の製造資機材や装置は、すべてデュアル・ユースのものであり、多くの資機材や装置が研究開発や製造に関わっているが、ここで取り挙げられた 7 つの機材は、生物兵器の開発や製造に重要な役割を果たす主要な機材や装置と見なされ、その規制範囲も軍用の細菌製剤の開発又は製造に利用される可能性が高い分野に限って制限されている。

（2） 規制はシンボリック的性格が強い。

これまで概観して来たように、生物兵器（剤）の研究開発や製造のためには、多くの資機材や装置等が関与しているが､AG や CIA レポート或いはわが国の省令で取り上げられ、規制されている軍用の細菌製剤の開発又は製造に用いられる装置は、それぞれの工程における必用不可欠な機材であるとは言え、シンボリックな性格が強い。それは、生物兵器の研究開発や製造のための資機材や装置等が余りにもデュアル･ユース性が高いためである、また関連する資機材が多いためである。

例えば、研究開発の面で見れば、細菌学やウイルス学等の実験室で研究に使用される関連資機材は、昨年のレポートにも報告したように、各種顕微鏡、マイクロマニピュレータ、

各種滅菌器、遠心分離器、各種培養装置、醗酵槽、凍結乾燥機、冷蔵庫、コールドルーム、冷凍室、液体窒素容器、プログラムフリーザー、超音波洗浄機、など多くの資器材があげられる。これらの諸器材は、生物体やバイオ研究を実施している大学や製薬、生化学、生物工学、農薬等の生化学研究所等ならどこでも備えている通常の研究資器材である。

規制されている７つの機材をみると、１つは封じ込め設備や物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置等安全対策・危険防止のためのものであり、もう１つは開発や製造に必要な醗酵槽、遠心分離機、クロスフローろ過装置や凍結乾燥機である。また３つ目は、エアロゾル試験装置等の開発機材である。これらは、主として研究開発に使用される器材と製造に使用される器材等に大別される。

これらの器材は民需面の利用もあるが、一方では、軍事面の使用の可能性が高い。

前項の生物兵器の製造や製造に使用される主要な機材・装置等で概観したように、軍用の細菌製剤の開発又は製造に用いられる装置は、生物兵器（剤）の感染性や毒性等のために厳しい封じ込めや汚染防止、安全確保等の防護対策も必要で、他の多くの民需品に比べて特に考慮すべき面もある。

例えば、攻撃的な軍事活動のための生物兵器（剤）の製造には、伝染性の性質を持つ剤から環境を防護するために、製造プロセスの封じ込めが必要であると見られている。また生物兵器（剤）の製造には、滑々した、高度に磨き上げたステンレス鋼の表面を持った、自己封じ込め能力のある、且つ負圧の条件を含む、MTCL で確認された操作条件下での醗酵槽或いは単一セル製造能力が必要である。

一般に、生物兵器のための製造要件と非軍事的な民需目的のための製造要件との主な相違は封じ込めと汚染にあるともいわれる。

しかし、研究開発や製造において使用される資機材はジュアル・ユースの資機材そのものであるとも言われる。

従がって、生物兵器の開発・製造の関連資機材がジュアル・ユース性が高いこと、多くの資機材が使用されること、生物兵器の開発製造にも多少キーとなる不可欠な機材や装置が存在すること等を考慮すれば、ここに規制品目として挙げられている７つの機材は充分シンボリック性を持つものであり、また、実務的規制であるともみなす事ができる。

（３） 規制範囲は出来るだけ限定的に。

繰り返しになるが、強調すれば、生物剤の開発や製造のためには特別な装置や機材は必要ないと言われている。それは、その装置や機材には例えば、合法的なワクチンの製造

や開発、薬剤プラントに使用されるデュアル・ユースの装置や機材、技術が適用されるからである。生物学的な製造物を造るには、通常、３つのレベルの製造法、すなわち、実験室的なスケールのもの、パイロット・プラント的なスケールのもの及び工業的スケールのもの、の３つのスケールのものがある。これらのスケールに使用される容器や大きさについてははっきりした区別はないが、一般的には、50 リットル以下、50 から 500 リットル及び 500 リットル以上に区分されている。どのスケールのものを選ぶかは、最終生成物の使用により決まる。再結合インシュリン製造のような、商業的努力が行われている場合には、パイロット・プラントスケールのもので充分に必要なものを造るが、抗生物質の製造には工業的なスケールの量以上のものが必要となる。

軍事的な応用には、戦略的に意味のある量の剤をパイロット・プラントスケールの操業で生産することができるが、期間的には、実験室的スケールの操業でも軍事的に必要な物質を充分生産することが出来る。遺伝子工学は、生物戦のための生物剤のより効率的な生産に大きな力を発揮するものと考えられ、特に非常に少量自然に発生する毒素剤について大きな力を発揮する。例えば、至る所にある、非発病性の生物に或る毒素を遺伝子情報として入れる DNA 挿入では、パイロット・プラントスケールの装置でその毒素の充分な量を製造することができる。

実験室的スケールの製造は、通常、研究的なものか、或いはベンチ・トップ的なものに限定される。研究室の活動が合法的な民需用のものか、軍事の攻撃的な研究活動であるかは、実験室の装置が一般的には同じ物が使用され、また直ぐにこれらの装置が転用使用可能であるから、その区別は難しい。

生物剤の研究、開発、生産に使用される装置は全て、合法的な生物学の研究での死体や生物の安全且つ効率的な取り扱いに不可欠なものである。

従がって、醗酵槽やスケールの大きい凍結乾燥機、クラスⅡ又はⅢの安全フード、高能率のパーチクル・エア・フィルター（HEPA）及び遠心分離機のような、標準的な生物学的実験装置は、容易に兵器のプログラムへ転用される可能性がある。

他方、封じ込め装置について１面を見ると、病原性の高い研究をする場合には、一般的には、高度な封じ込め、或いは最大の封じ込め装置が使用される。Ｐ－１／BL－１からＰ－４／BL－４の指定は防護（Ｐ）又は生物封じ込め（B）レベル（L）に因るもので、レベル４は防護又は封じ込めのレベルが最も高いものであることを示している。基本的に、これらのレベルの指定は研究室の仕事場所から外側へ漏洩する生物体を防ぐ物理的なバリアーの数を示すものである。国際的な合意によって、Ｐ－４／BL－４は生命に危険な疾病

の高いリスクをもたらす危険な生物剤を取り扱う業務に必要なものである。高度な封じ込めの設備のある実験室（P－4／BL－4）はコストが高く、維持が難しい。世界では、強い伝染病を合法的に研究している大多数の所にはこれらの実験室は極めて少ない。しかし、BW 剤の仕事には高度の封じ込め装置を持つ必要はないということに注目すべきである。例えば、ボツヌリス毒素や炭疽病の研究では封じ込めのレベルが僅かに、推薦されたＰ－2／BL－２のレベルのものが必要なだけであると言われている。若し、安全が或る国にとって関心事でないなら、殆どの生物剤は利用できる最も低いレベルの封じ込めで研究ができると見られている。

これらの例に見られるように、①生物兵器の開発や製造資機材は極めてジュアル・ユース性が高く、②また色々の装置や資機材が幅広く利用できること、などから、現在、AG や欧米諸国では、また、我が国も含めて、規制すべき貨物を、生物兵器の開発や製造に直接利用される可能性の高い品目に限定してシンボリックに規制しているものと見られる。

最近、科学技術の進展等により、貨物や技術が軍事用途と民需用途の区別が付け難くなって来ており、従来の輸出管理の有効性を補完する観点から、Know 規制やキャッチオール規制の概念が導入され運用されるようになった。

これらのことを考慮すると、特に生物兵器開発・製造関連資機材や装置等に関しては、規制すべき品目は、これ以上増やす必要はないものと言える。

一方、今後、AG の会議で規制すべきとして挙がって来る可能性のある装置や資機材としては、①注意喚起リストに挙がっている、マイクロカプセル化装置と HEPA フィルター、と②遺伝子関連製造装置等である可能性がある。①の注意喚起リストについは、AG や CIA のレポートに次の３つが挙げられている。

ａ．AG の生物装置注意喚起リスト

① マイクロカプセル化装置

粒子径 1～10μｍの生体微生物及び毒物をマイクロカプセル化する装置であって次のもの；（ａ）内部多極凝縮器、（ｂ）相分離器

② 300 ｌ未満の醗酵槽

内容積 300 ｌ未満の醗酵槽が組み込まれた小型自動培養装置

③ HEPA フィルター

通常流式または乱流式のクリーンルーム用のファンを内臓した HEPA フィルターであって、Ｐ３又はＰ４（BL３、BL４、L

３、Ｌ４）レベルの封じ込め施設に使用可能なユニット。

ｂ．CIA レポートに示されたその他の器具

①1～10μｍの粒子サイズ範囲での生きた微生物や毒素の微少包み込みを行う装置　;（ａ）界面重縮合器：（ｂ）位相分離器

② 300 リットル以下の培養槽で特に集中順に重点を置いたもの又は複合系で用いられるもの

③ 通常流式又は乱流クリーンエア室やＰ３又はＰ４封じ込め施設で用いられる組み込みファン用 HEPA フィルター

これらの中で②の醗酵槽については、最近の AG の改定で容量が 20 １又はそれ以上のものの醗酵槽が規制されることになり、その内容が取り込まれている。

近年、生物兵器（剤）がマイクロカプセル化の傾向にあり、また必ずしも民需面の利用も多くない事等を考えると、①のマイクロカプセル化装置は注意喚起リストから規制品目になる可能性は有ると言える。また③の HEPA フィルターは、最近の民需面での利用が極めて多いことから、注意喚起リストとして注意することにとどめることが必要であろう。

もう１つの可能性は最近の遺伝子工学の著しい発展により、遺伝子工学的生物兵器の出現の可能性から、遺伝子利用に関わる機材の規制の可能性が指摘される。現在のところ、特に該当するものは見当たらないが、将来の可能性として、規制機材の存在は完全に否定できない。

これらの事を考えると、現在の規制の基準の考え方としては、①これ以上の規制品目は増やさなく、②あくまでもシンボリックに行うべきであり、③民需活動を害さないことが大切である。しかし、生物兵器（剤）は２１世紀の最大の脅威であり、極めて容易に開発、製造できることから、貧者の核兵器と言われるように、核兵器を持てない国々へ拡散して行く傾向を強めている。このため、生物兵器の開発や製造関連資機材は、Know 規制やキャッチオール規制等の適正な運用も含め、厳しく輸出管理していく必要がある。

特に生物兵器開発・製造関連資機材はそのジュアル・ユース性を考慮し、規制範囲は出来るだけ限定的に行う必要があろう。

Ｂ．ロケット航法装置等

目次

Ｂ．ロケット航法装置等

第１章　アイテム５　推進薬製造 ····· 121
第２章　アイテム６　複合材料の生産 ····· 131
第３章　アイテム７　熱分解技術····· 146
第４章　アイテム８　構造用材料····· 155
第５章　アイテム９　航法装置····· 166
第６章　アイテム１０　フライト　コントロール····· 189
第７章　アイテム１１　アビオニクス····· 194

カテゴリⅡ～アイテム5

推進薬製造

（特別に設計されたコンポーネントを含む）下記のための生産技術または生産設備；
(a) アイテム4に示す液体推進剤又は推進剤成分の生産、取り扱い、又は領収試験。

特性と目的：液体推進剤の生産設備は、いかなる石油製造設備や、大きな化学プラントの個々のコンポーネントと共通するものである。典型的なコンポーネントとして、反応槽、液化装置、回収塔、過熱器、蒸発器、フィルタ組立、デカンタ、冷却装置、ガス分離器、及び遠心ポンプがある。これらコンポーネントのいずれもが、単独で特別に液体推進剤の製造用に作られたものではない。しかしながら、推進剤生産設備として結合されると、一般的に特定の推進剤の生産に最適化され､他のものを作るには適さないものになっている。

液体推進剤を作るための技術は一般によく知られているが、様々な会社が、産出量を最大に、コストを最小に、または副産物の代替用途を見つけるために、固有の生産工程を持っている。この一般側に対する例外はペンタフルオライド（ClF_5）とフルオロックス（ClF_3O）であり、製造方法は似たものになっている。

液体推進剤の領収試験には、殆どの化学品質管理実験室にあるものと共通する、分析装置が必要で、例えば、ガスクロマトグラフィ、原子吸光分光計、赤外分光計、及びボンベ・カロリメータがある。これら装置は、液体推進剤の受け入れに際し、一般的に修正無しで使うことができる。

操作方法：推進剤を製造する工程により、特定の製法というものがある。推進剤に使われる成分は､商業目的で一般的に作られるものであるが､純度を上げたり､安定化させたり、抑制したり、特定の性質を達成するためにブレンドするといった、追加の工程を必要とする。例えば、硝酸の純度を上げるために、硫酸または炭酸マグネシウムが使われる。商業用の硝酸は、通常ハイドレートとして水と結合されており、酸は55から70％の含有率である。ハイドレートを分解して97から99 ％の純度、無水（水の無い）硝酸にする化学処理が必要である。安定した赤煙硝酸（IRFNA）を作るためには、濃縮した硝酸に四酸化二窒素（N_2O_4）が加えられ、急激な分解が起こらないように安定化され、容器の腐食を低減させるために微量のフッ化水素（HF）が加えられる。

ミサイル関連の用途：液体推進剤の生産と領収試験のための装置は、推進剤の生産のために、固有に開発する必要がある。

他の用途：装置と技術は一般的に利用されているもので、石油産業や化学薬品生産産業で広く知られている。

外観（生産状態）：一般的に、完全な液体推進剤製造設備を、一体になったものとして購入したり、移送したりできない。つまり、一般的な化学処理設備や産業機械の部分部分を組み立てて作られる。ターンキー（完成渡し）プラントとして出荷される場合でなければ、最もありそうな（輸出）アイテムは、多分、プラント設計に関連した、計画書、図面、計算書､及び設備リストである｡科学技術者がそのような設備を設計するときの助けになる、商業的に入手可能なソフトウェアさえもある。

外観（梱包状態）：液体推進剤生産設備のサイズが梱包を左右する。比較的小さな機械は衝撃吸収の木箱に詰められるか、他の梱包からの影響を分離するためのクッション付きパレットに取り付けられる。大きな機械は出荷のために分解されて現場で再組立され、そのコンポーネントは木箱やパレットに別々に梱包される。

（b）アイテム 4 に記述する固体推進薬または推進薬成分を生産、取り扱い、混和、重合硬化（キュア）、鋳型、プレス、機械加工、押出し成型、または領収試験で、5（ｃ）で述べるものを除く。

特性と目的：固体ロケット推進薬の生産設備や製造に必要なインフラストラクチャは複雑で特殊なものである。設備や装置は、様々な推進薬成分を揃えて準備するため、推進薬を混合し取り扱うため、モータケースの中に推進薬を鋳型し硬化処理するため、及びその他の専門的な作業、例えばプレス成型、機械加工、押出し成型、領収試験を行うために必要である。

操作方法：固体推進薬はバッチ混和か連続混和かのいずれかで製造する。殆どのミサイルプログラムでは、固体ロケット推進薬の製造に、バッチ処理を用いる。個々の成分の受け

入れ・領収試験の後、過塩素酸アンモニウム（AP）その他は、通常、必要な粒径を得るために製粉機で粉砕する。バインダ、AP、金属粉、安定剤、硬化剤、及び燃速調整剤を含む全ての成分が、大きなミキサで混和され、粘性のあるスラリにされる。モータ中心部を走る空隙を生成させるための中子がつけられたロケットモータケースに、推進薬スラリが注ぎ込むか鋳込まれる。推進薬が詰められたモータケースは大きなオーブンに入れられ、推進薬を硬化させる。硬化処理により、スラリは硬いゴム状の材料か、推進薬グレインに変わる。そこで、硬化そりされた推進薬の入ったロケットモータは冷やされ、中子が取り除かれ、最終仕上げや機械加工が施される。完成したモータは、推進薬グレインが均質であること、全周にわたりケースに接着していること、及びクラックの無いことを保証するために、通常、X線検査される。

連続混和では、同一の推進薬成分が連続的に計量され混和器に投入され、混合され、必要量の推進薬が得られるまで、モータか他の容器に連続的に流し込まれる。このタイプの混和では、ある種の推進薬に使われる硬化促進剤のような、少量の成分を正確に測るのが難しい。従って、連続混和はあまり多く使われていない。

ミサイル関連の用途：固体推進薬が良ければ、ミサイルの飛距離とペイロード搭載能力が改善される。国家にとって、固体ロケット推進ミサイルのための、独自の生産能力を開発するためには、固体ロケット推進薬生産設備と領収試験設備が必要である。

他の用途：なし

外観（生産状態）：固体推進薬がロケットモータケースに注ぎ込まれるとき、推進薬から気泡を取り除くため、通常、専用装置を使って真空に引きながら推進薬を注型する。これら装置の大きさはロケットモータのサイズによって変わるが、作動原理は同じである。小さな戦術ミサイルの注型 - 硬化治具を図5-1に示す。小さなモータの設備と加工工程を図5-2 に示す。混合された推進薬が、混合容器から、ロケットモータに取り付けられた大きな注型用じょうごに注ぎ込まれる。注型用じょうごの首についているバルブが、モータ内部の真空と周囲の大気圧とを分離している。注型用じょうごに推進薬が満たされると、バルブをゆっくりと開き、推進薬がロケットモータケースに流れ込むようにする。

非常に大きなモータは、時々注型/硬化ピットで鋳込まれる。それは地下のコンクリート構造物で、加熱用のコイルが並べられている。注型作業が始まる前に、ピット全体が空にされる。作業中の地下式の注型/硬化ピットを図5-3 に示す。その他の推進薬専用設備については、注型設備は一般に現場で組み立てられ、その大きさはモータのサイズや注型作業の行われる方法によって変化する。

図 5-1：注型・硬化治具を装着した戦術ミサイル用ロケットモータ

硬化設備は、電気的にまたは蒸気で加熱する大きな炉から、大きな加熱されるビルディングまで、その種類や大きさが変化する。この設備はとりわけ専門的なものではない。それは、この工程が、必要な時間だけモータの温度を高めることだけを必要とされる、単純なものであるからである。大きな注型/硬化ピットは、恒久的な現場施設である。

Figure 5-2: Slurry cast double-base mixing equipment for a small motor.

Figure 5-3: A propellant casting pit, with a motor case belowground.

図 5-2：小さなモータ用のスラリ注型ダブルベースの混和設備。
図 5-3：地下にモータが据え付けられた、推進薬の注型ピット

推進薬のバッチ領収試験の設備は、分析化学や材料試験の研究室に見られる設備と同じものである。これら装置を用い、成分を確認するための化学試験を行い、燃焼速度を確認するために少量の推進薬を燃やすかサブスケールのモータで実験し、ロケットモータ設計上必要とされる推進薬の物理的性質を確認するために引っ張り試験を行う。

推進薬の表面の機械加工は、固体推進薬の安全上の問題に適合させるように特別に修正を加えた、大きな切削機械で行われることが一般的である。このタイプの機械の多くは、特定のロケットモータ向けに特別に作られたものである。

大きなロケットモータの推進薬グレインにとって重要なことは、押し出し成型機で扱うには余りにも大き過ぎることである。しかしながら、MTCRで扱う重要な推進薬のあるも

のは、前処理段階で押し出し成型を行う。一般的に、押し出し成型は直径0.3m 以下の推進薬グレインに限られ、多くの戦術空対空、地対空、空対地ミサイルに使われている。比較的小さなグレイン製造する、この種の押し出し成型機を図5-4に示す。

外観（梱包状態）：固体推進薬生産設備の大きさがその梱包を左右する。小さな機械は衝撃吸収容器に詰められるか、クッション付のパレットに載せられる。大きな機械は出荷用に分解され、現場で再組み立てされる。それらの構成品は別々に木箱かパレットに梱包される。

Figure 5-4: A solid propellant extruder and grain.

図 5-4：固体推進薬押し出し成型機とグレイン

（c）以下に示す設備

(1) ゼロから13.326 kPa の真空下で混合でき、混合チャンバの温度制御のできる、バッチ式ミキサであって、以下に示す能力を有するもの

(i) 全容積が110リットル以上のもの。および、

(ii) 少なくとも一つの混和/練り軸が中心を外して取り付けられているもの

(2) ゼロから13.326 kP a の真空下で混合できる、混合チャンバの温度制御のできる、連続式ミキサであって、以下に示す能力を有するもの

(i) 二つ以上の混和/練り軸を有し、そして

(ii) 混合チャンバを開けることができるもの

アイテム5に対する注記：

(1) アイテム4に示す固体推進薬または推進薬成分に使え、アイテム5に示す流体エネルギ・ミルに使え、5(c)に示すものに使える、バッチ式ミキサ、連続式ミキサに限る。

特性と目的：バッチ式ミキサは、粘性の高い材料を多量にバッチ処理する、強力な混合機械である。これらはパン生地を練る機械に由来している。これらの目的は密度の異なる液体と粉を均一に混合することである。

連続式ミキサは強力な混合機械で、（対象物を）流して通すように運転する。これらは

バッチ式ミキサより多量のものを大量生産で混合する。

操作方法：バッチ式ミキサはほとんど家庭用電気ミキサのように運転する。容器に成分を順番に入れ、回転羽で全てを一緒に混合する。容器を水ジャケットで囲み、シールした蓋で容器を覆い、温度を制御して真空を保つ。

連続式ミキサは、正しい割合の成分を一緒に、少しずつ混合領域に供給する。混合・練り軸は連続的に流れる液体と粉を徹底的に混合し、均一にされた混合物は、安定した粘性のある流れとなって、パイプから徐々に流れ出す。

ミサイル関連の用途：バッチ式および連続式ミキサは、正確な量の液体の推進薬成分と粉の推進薬成分を均一な混合物にするために用いる。この混合物はもし点火すると激しく燃焼するので、安全な手続きが重要である。作られた混合物はこの後、別の工程で注型され、硬化されてゴムのような複合材料になり、固体ロケットモータの推進薬として利用される。

他の用途：バッチ式および連続式ミキサは、粘性の高い混合物が必要な生産にはいつも使われるであろう。しかしながら、ほとんどの商業利用においては、アイテム5(c)で指定する温度制御と真空の能力は要求されないであろう。

外観（生産状態）：バッチ式ミキサの最も特徴的なコンポーネントは混合容器と撹拌羽組み立てである。混合容器は一般的に、図5-5に示すように、深さ0.75から1.5 mで、直径1から2 mであるが、450ガロン（1,700リットル）以上のミキサは著しく大きなものになるであろう。それらは二重壁になって居り；内壁はしっかり磨かれたステンレス鋼で作られ、外壁は一般に冷間圧延鋼で作られ、時には塗装を施される。壁の間の空間は温水/冷水による加熱/冷却ジャケットとして使われる。外壁には二個のバルブがあり、図5-5に示すように、水の流入/排出ホースが接続される。

Figure 5-5: A 420-gallon propellant mixing bowl.

図 5-5：420 ガロン 推進薬混合容器

容器は一般に、四隅に車輪のついた厚い矩形の鋼板に溶接される。車輪は大体の場合溝がついていて、容易に動かせるようにレールの上におかれる。時々、容器の上面は機械加工され、Oリング（ガスケット）の入る大きな溝のある平面に作られ、その他の場合はミキサ・ヘッドに一つまたはそれ以上の溝が掘られる。Oリングの目的は、混合工程を真空下で行うためのシールである。ブレード組立は二つか三つの羽からなり、同じくしっかり磨かれたステンレス鋼で作られる。多くのブレード組立はねじれたパドルのブレードを用い、一つのブレードには、図5-6に示すような、空孔を設ける。他のブレード組立ではコルク栓抜き形のブレードが使われる。出荷形態でははっきりわからないが、ブレード組立は惑星のような動きをする。つまり、中央のブレードは固定位置で回転するが、他の一つまたは二つのブレードは中央のブレードの周りを回ると同時に、自分自身の軸周りを回転する。後のミキサコンポーネントは電動モータ、ギア組立、ミキサ・ヘッド、および支持構造などである。

Figure 5-6: Open-blade configuration of a batch mixer.

図 5-6：空孔のあるブレードのついたバッチミキサ

外観（梱包状態）：ミキサは完成したユニットでも、コンポーネントとしても出荷される。精密加工された装置であるミキサ・ブレードは、他の要素と別に、傷防止のために梱包する。これらはミキサ・ヘッドとフレーム組立に組み込まれ、衝撃吸収材でしっかり保護して梱包することが多い。混合容器は、装置の中で大きく重い部分であり、大きく丈夫な木箱に入れて出荷することが多い。これらはダメージの防止のため、木枠にしっかりと固定される。木枠には弁別的表示やマーキングをしない傾向がある。

(3) アイテム 4 で指定される物質を挽き、粉砕するときに使われる流体エネルギ・ミル；

操作方法：流体エネルギ・ミルは高圧の空気を使い、粒子を相互にこすり付けることにより、一般的に20ミクロンかそれ以下の、非常に小さな粒径まで挽くものである。この範囲の粒径のものは、ハンマーミルのような他の粉挽き方法では、簡単に得ることはできない。流体エネルギ・ミルはま

製造可能国
中国
フランス
英国
米国

た、オクトーゲン（HMX）やシクロナイト（RDX）のような爆発物を挽くのにも安全なものである。

ミサイル関連の用途：流体・エネルギ・ミルは、固体ロケット燃料の酸化剤または燃速調整剤として使う、細かく挽いたAP、HMX、またはRDX粉末を作る。

他の用途：流体エネルギ・ミルは食料、採鉱、および塗料の顔料産業でも使われる。

外観（生産状態）：流体エネルギ・ミルは可動部分のない非常に簡単な装置である。多くは平らな円筒形の装置で、ステンレス鋼で作られ、高さ 7～10 cm 直径 7～40 cm である。円筒には入口と出口のポートがあり、付属の設備に接続される。ミルの内部は螺旋形の管になっており､粉に挽かれる材料が高圧の空気で押されるようになっている｡粒径は、挽かれる材料の供給速度と、空気圧または気流の速度で制御される。このようなミルを三台、図5-7 に示す。

Figure 5-7: Three examples of fluid energy mills showing their various configurations.

図 5-7：さまざまな形態を示す、流体エネルギ・ミルの三つの例。

外観（梱包状態）：流体エネルギ・ミルは、輸送時の保護のための発泡剤またな梱包用材料を使い、木箱で出荷される。木箱には特徴がない。

(4) 制御された環境下で、4(b)(3)[1]または4(b)(4) [2]に示す材料の、球形粉末または微粒粉の「生産」に使用できる、金属粉「生産設備」であって、以下に示すもの；

(i) アルゴン - 水環境下で処理を行い、スパッターされた、または球形の金属粉の製造に使用できる、プラズマ発生器（高周波アークジェット）；

(ii) ルゴン - 水環境下で処理を行い、スパッターされた、または球形の金属粉の製造に使用できる、電子バースト設備；

(iii) 不活性ガス（たとえば窒素）雰囲気で、溶融アルミの微粉から球形のアルミ粉を「生産」できる装置。

アイテム5に対する注記：

(2) 金属粉末「生産設備」であって、5(c)(4)で規定されないものは、5(b)に従って評価される。

操作方法：ミサイル推進薬の成分として使う微細金属粉末の、最も一般的な製造方法は、上記、アイテム5(c)(4)(iii)で特定した装置を用いた溶融金属処理法である。この処理法は成熟しており、低コストで大量の粉末金属を作るのに使える。プラズマ発生器と電子バーストの両者は比較的新しい方法で、生産活動には広く使われていない。これらは現在、溶融金属処理法と比べると、研究室レベルのものと考えられている。

溶融金属処理法では、不活性ガスか調整された気体で満たされた大きなタンクの最上部から、溶融金属が噴霧される。この気体は、窒素、アルゴン、または両者の混合気である。金属粉末に薄い酸化皮膜が欲しいときには、少量の、制御された酸素をタンク内のガスに加える。溶融金属を噴霧すると、小さな液滴が作られ、冷却され、球形の粒子に凝固し、タンクの底に落下する。金属粉末の粒径はスプレー・オリフィスの大きさで制御する。

ミサイル関連の用途：微細で球形の金属粉末生産設備は、固体および液体ロケット燃料の成分として使われる、均質で微細な金属粉末を製造するのに使われる。金属粉末はロケッ

1 均一球形アルミ粉

2 ジルコニウム、ベリリュウム、ボロン、マグネシウム、及びこれらの合金の粉

トモータの性能特性を向上するために使われる。現代のコンポジット固体推進薬モータにおいて、粉末金属は不可欠なものである。ミサイルの推進薬に加えた微細で球形の金属粉末は、ミサイルの射程と搭載能力を増加させる。

他の用途：微細で球形の金属粉生産設備は、メタリック塗装の顔料から構造用接着剤の添加剤まで、多くの商業用途の金属粉末の生産に使われる。

外観（生産状態）：上記に示した方法で、微細で球形の金属粉末を作る設備は、一般の装置から容易に組み立てられる。設備には液状の金属を噴霧する大きなタンクや、空気を排気するためにタンクに取り付けるポンプや、不活性ガスを充填するシステム（例えばタンクとバルブ）や、金属を溶融させるヒーターや、タンクに液状金属を吹き込むための噴霧器・ノズル組立などが含まれる。

外観（梱包状態）：微細金属粉製造装置は一つのユニットとして出荷することはない。そうではなく、多くの産業設備と同様、その構成品が分解され、梱包され出荷される。小さなものは箱または木枠に詰め、パレットに固定される。タンクはへこみから保護するために箱詰めされる。噴霧ノズルは別々に梱包され保護箱に入れられる。

カテゴリⅡ～アイテム 6

複合材料の生産

下記に示す、アイテム1に示すシステムに使用できる構造用複合材料を生産するための、設備、“技術データ”及び生産手順書、並びにそのために特別に設計した付属品（コンポーネント、アクセサリ、）及び特別に設計したソフトウェア：

(a) 繊維またはフィラメント状の材料から複合材料構造物または積層板を製作するように設計された、フィラメントワインディング装置であって、繊維を位置決めし、包み、巻く作業において、3軸またはそれ以上でそれらを相関して制御するように統合され、プログラム化されたもの、及び統合されプログラム化された制御方法；

(b)

アイテム6に対する注記：

(1) この帳簿記載事項としてカバーする、この機械の付属品(コンポーネントとアクセサリ)の例としては：モールド、マンドレル、ダイス、及び複合材の構造物と積層板およびそれらによる製品のプリフォームをプレスしキュアし鋳造し焼結し接着するための取り付け具と工具一式がある。

製造可能国
フランス
ドイツ
イタリア
日本
オランダ
ロシア
英国
米国

特性と目的：フィラメントワインディングマシーンは、エポキシ樹脂かポリエステル樹脂で覆われた高強度のファイバーを、回転するマンドレルの上に処方通りのパターンに巻付け、重量に比して高強度の複合材料部品を作るためのものである。このワインディングマシーンは見かけと動作は旋盤に似ている。巻き付けの作業が完了すると、複合材料部品はオートクレーブやハイドロクレーブで硬化させる。

操作方法：最初、作られる複合材料部品の内径寸法に合わせたマンドレルを作る。マンドレルをフィラメントワインディングマシーンに取り付け、回転させる。回転にしたがって、供給スプールからエポキシかポリエステルのバスを経由し、マンドレルの表面まで、連続したファイバーが供給される。巻き付けが終わると、マンドレルとその上に積層された部品が機械から取り外され、様々な方法でマンドレルを取り外す前に、部品は硬化される。一般的なマンドレルのタイプとしては、水溶性のクモの巣状石膏マンドレル、および分割型、折り畳み型マンドレルなどがある。固体ロケットモータの大型モータケースの場合、

通常水溶性の砂型が使われる。時々、非取り外し形のライナが使われる。例えば、メタルライナ付の圧力容器は、メタルライナをマンドレルとして使い、単純にフィラメントを巻いたケースの中にそれを残す。

ミサイル関連の用途：フィラメントワインディングマシーンは、ロケットモータケース、燃料タンク、圧力容器、及びペイロードの覆いを作るために使われる。高強度で軽量の構造は、ミサイルの射程を延ばし、搭載可能なペイロードの比率を高める。

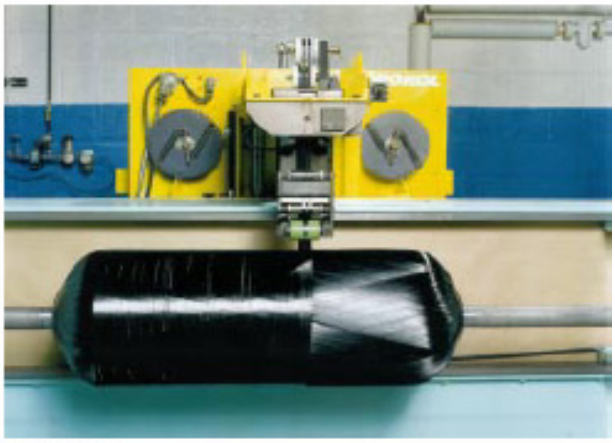


Figure 6-1:
Tabletop filament
winding machine.

図 6-1：卓上フィラメントワインディングマシーン

他の用途：フィラメントワインディングマシーンは尾翼スタビライザ、翼の部品、胴などの航空機部品を作るのに使われる。また、液化天然ガスのタンク、温水タンク、加圧天然ガスのタンク、ゴルフクラブのシャフト、テニスラケット、釣竿を作るのにも使うことができる。

Figure 6-2:

図 6-2：多軸の大型フィラメントワインディングマシーン。

外観（生産状態）：フィラメントワインディングマシーンのサイズは、作られる部品のサイズによって変わる。直径10 cm程の部品を作るためのフィラメントワインダは1×2×7 m の大きさをしており、図6-1に示すように卓上に設置できる。大きなロケットモータのセグメント（およそ直径3 m、長さ8 m）のように大型の部品用のワインダは、図6-2 に示すように、およそ5×5×13 mで数トンの重さになり；同様の機械としては、図6-3 に示すように、ファイバー用のスプールが多重のものもある。1950 年代後半に開発された古いフィラメントワインディングマシーンの殆どは、ギア駆動で、マニュアルで条件設定するものである。新しいワインディングマシーンの多くは数値制御され、複雑な形状で特殊な要求に合

わせた巻き付けができる。

外観（梱包状態）：フィラメントワインディングマシーンのサイズが梱包の大きさを決める。小さな機械は衝撃吸収容器に入れて木箱に詰めるか、他のパッケージと独立させてクッション付のパレットに取り付ける。大きな機械は出荷のために分解され、現場で再組立され、その部品は木箱かパレットに別々に梱包される。

Figure 6-3:
図 6-3：右手に多軸のフィラメント用スプールを有するフィラメントワインディングマシーン。

(b) 航空機機体構造とミサイル構体の複合材料製品のために設計されたテープ積層機械で、2 軸に全はそれ以上にテープまたはシートを位置決めし、積層できるように統合されプログラム化されたもの；

製造可能国
フランス
ドイツ
イタリア
日本
オランダ
ロシア
米国

特性と目的：テープ積層機械はフィラメントワインディングマシーンと類似のものであるが、十分に緩やかな輪郭や角度を持ち、厚いテープや幅広のテープが使える、やや重目の部品に使われる。フィラメントワインディングマシーンの代わりにテープ積層機械を使う目的は、部品を製作するのに必要なマンドレルの回転回数を減らすためである。これによって生産速度が増し、コストが下げられる。

操作方法：テープ積層機械は殆どフィラメントワインディングマシーンと同様の動きをする。テープ積層機械のヘッドは様々な幅のテープを扱うことができる。湾曲の少ない構造物には（約30 cmまでの）幅の広いテープを用いる。湾曲の多い、または中位の構造物には、幅の狭目のテープを使うか、主たる湾曲方向に対しバイアス方向にテープを使う。

ミサイル関連の用途：テープ積層機械は、大気圏再突入機の熱シールドや、ノズル出口、

イグナイタ、その他高温に曝される部品を作るのに使われる。

他の用途：テープ積層機械は、フィラメントワインディングマシーンで作るような品物の製作に使用できるが、円筒形の品物を作るのに使うのが最も有利である。例えば、特定の航空機部品、自転車のフレーム用のチューブ、及び湯沸かし器などがある。また、橋脚、容器、パイプを包むのにも使われる。高温になる石油掘削のボーリング用パイプを包むのにも、広く使われている。

外観（生産状態）：テープ積層機械の大きさは製品の大きさによって変わる。機械は手動制御も数値制御（NC）も、両方がある。NC機械はデータインプットのキーボードがあり、所望の複合材の積層条件を入力する。殆どの機械の特徴であるフラットベッドの寸法は、小さな部品を作る場合には1～2 m、非常に大きな部品には10 mの長さをしている。スチールのテーブルとガントリークレーンを装備した大きな機械の重量は、1,000～2,000トンになる。テープ積層機械の二つの例を図6-4と6-5に示す。

Figure 6-4: A tape winding machine that resembles a lathe.

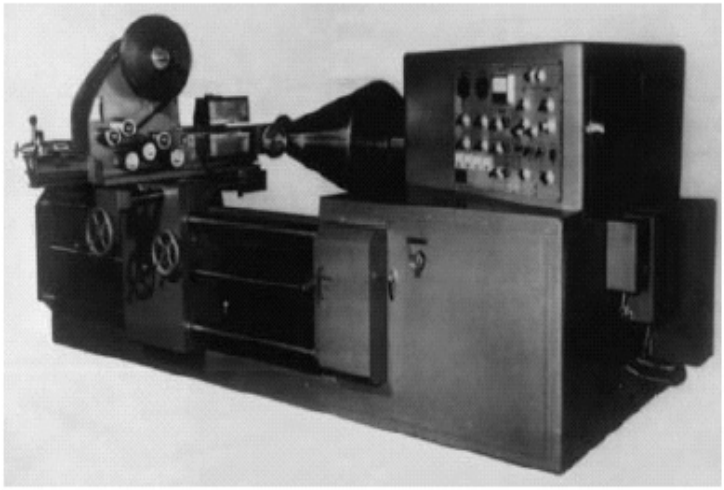


図 6-4 旋盤と良く似たテープ積層機械。

Figure 6-5: A modern, multi-axis numerically controlled tape laying machine.

図 6-5 近代的な多軸の数値制御テープ積

外観（梱包状態）：テープ積層機械の梱包は、機械の大きさによって変わる。小さな機械は梱包用の木枠に完全に入れてしまえる。大きな機械は出荷用に分解し、現地で再組立する。コンポーネントは別々に木枠で梱包するか、パレットに載せる。梱包により、輸送や取り扱いの衝撃や振動から、適宜保護する。

(c) 複合材料構体を作るために、繊維を織り、織り交ぜ（インターレーシング）、編むためのもので、アダプターや修正用キットを含む多方位、多次元織機またはインターレーシングマシン。ただし、これら目的のための修正を施していない繊維機械は除く。

特性と目的：多方位、多次元織機は、繊維をつなぎ合わせて複雑な複合材料構造体を作るために使われる。組紐機（ブレーディングマシーン）は多方位性材料プリフォームを作るための、一般的な方法である。その目的は、複雑な形状のプリフォームに、予期される応力方向に沿って、系統的に繊維を並べることで、他の方法ではできない軽くて強い部品を作ることである。

製造可能国

フランス
ドイツ
日本
オランダ
米国

制御機能がなく、ロー・エンドの使用のために容易に修正可能な繊維機械は、多くの国々で購入できる。

操作方法：一つのシステムでは、織機マンドレルが最初に機械に設置される。マンドレル組立が回転するのに合わせ、繊維が外周から管状の配送システムを経由して連続的に織る部分へと供給される。配送システムには繊維に張力を与える装置と、糸切れセンサがある。織物の繊維で形造られた、個々のパイ型の回廊部分で、放射状に設置された編み針が回廊を横切り、ポートの内側で径方向繊維を捕らえ、ポートの外側に戻って、そこで本縫いを行い、次の動作における繊維の動きを妨げる。このプロセスが繰り返され最後の織りで完成する。

組紐機は、織機のように長手方向の繊維だけを締める代わりに、二つまたはそれ以上の繊維の束をバイアス方向に絡み合わせて、統合された構造物を形成する。このように、組紐材料は織ったり編んだりした繊維製品とは異なり、布地に繊維が織り交ぜられたものになっている。

ミサイル関連の用途：多方位、多次元織機は、ミサイルの重要な部品である大気圏再突入機のノーズコーン先端部や、ロケットノズルのように、高温と高い応力に曝されるものを

作るのに使われる。

他の用途：織機は、航空機のプロペラ、風車の桁、スキー、ユーティリティポール、およびスポーツ用品など、広範囲の複雑な複合材料部品を作るのに使われる。

外観（生産状態）：織機は回転テーブルの上に稼動領域を持ち、織物が織られる部分の周りに穴あきプレートを貫通するロッドのネットワークが取り付けられている。稼動領域は、糸巻きに巻いた繊維の供給機と、織ったり紐を締めたりするための針で囲まれている。織物を織るための駆動モータ、カム、および押し棒が、機械のメインフレームに取り付けられている。

小さな部品を作るのに使う織機は長さ2 m、幅1 m程度であろう。大きな部品を作るものは、水平に設置するものであれば長さ10 m、垂直に設置するものであれば高さ10 m程度であろう。

組紐機は床に固定されたものと、プリフォームを作るスピンドルをガントリーで支えた頭上設置のものと、両方の方式がある。双方の形態において、繊維はスピンドル同軸の大きなホイールを通して、径方向にスピンドルに供給される。操作盤は、プリフォームが形成されていく状況を監視するために、ガントリークレーンの中心部分に設置される。2軸または3軸の組紐を作ることのできる、144キャリア（繊維素子）の水平設置の組紐機を図6-6に示す。図6-7は床に固定する方式のものを示す。どちらの機械も、一般のPC上で作動する特殊なソフトウェアで制御する。

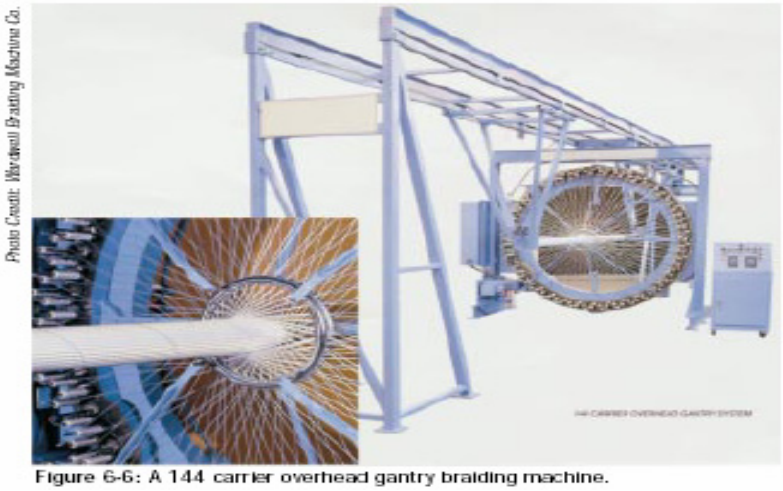


Figure 6-6: A 144 carrier overhead gantry braiding machine.

図 6-6：144 キャリアの頭上設置式の組紐機。

外観（梱包状態）：織機の梱包は機械の大きさによって変わる。小さな機械は梱包用木枠

の中に完全に入れられる。大きな機械の部品は出荷のために分解され、木枠かパレットに別々に梱包され、現場で再組立される。すべての部品は、輸送や取り扱いによる衝撃や振動から
適宜保護される。

Figure 6-7: A 144 carrier floor-mounted traverse braiding machine.
図 6-7：144 キャリアの床に固定された横断式の組紐機。

追加情報：これらの機械は、それぞれの機械の内に構築された、与えられたタスクを実行するための複雑な繊維の取り扱い機構と、スプールや回転/作動機構を持っている。ある機械、特に大気圏再突入機の熱シールドに使われるものでは、ベッドの上にマウントされ、少なくとも一方向のついての織り方を幾何学的に安定させるように硬いロッドに頼るようにしてある。三次元のプリプレグに使われる織機に対しては、織物を織るために必要な基本的なネットワーク構造として、特別に設計した穴のパターンを持つ貫通プレート、平坦なプレート、金属製のロッド、編み針、引き込み羽、等があり、もし、十分に自動化したければ、編み針と引き込み羽を動かすのに必要な機器も含まれる。他のタイプの織物のための要素部品は、それぞれの機械独特の設計に依存する。

(d) 繊維またはファイバー状の材料を生産するために設計され修正された装置で、以下に示すもの：

(1) 加熱過程で繊維にひずみをかけるなどの特殊な機能を有するものを含む、高分子繊維（例えばポリアクリロニトリル、レーヨン、ポリカルボシラン）を変換する設備；

特性と目的：高分子繊維は、高温で高い強度と剛性を示す、高温用炭素繊維やセラミック繊維の先駆物質である。高分子材料から高温用繊維への変性は、高分子繊維を特別な反応環境下で引張り、加熱するときに起こる。この装置は、その構成品によるコントロールの下、過熱し、張力をかけ、必要な反応雰囲気にさらす。

製造可能国
ドイツ
日本
ロシア
英国
米国

操作方法：高分子繊維は、張力、速度、加熱、雰囲気を制御された機械の中に供給される。変性には長い時間がかかり、生産性を高めるためには処理部の距離を長くする必要があるので、繊維の経路は通常長く複雑である。繊維は温度と雰囲気を制御された一連の炉の中を通過し、どんどん速度を上げながら駆動され、結晶学的な整列の程度を高めて、細く耐熱性の高い繊維に変換される。設備の重要な要素としては、各ステップでの所望の温度を維持する制御装置、様々な熱処理工程の中に製品を運ぶためのローラと駆動モータなどがある。

ミサイル関連の用途：この設備は、高強度で軽量の優れた特性を持つ、ミサイルに使われる繊維を作るために、合成繊維を引き伸ばしたり変性させたりする用途に用いる。これら繊維はミサイルに使われ、モータケース、フェアリング、燃料タンクの強度を改善し、重量を低減することによって、ミサイルの射程を延ばしペイロード搭載能力を高める。

他の用途：この設備は、航空機の構体、タイヤ、ゴルフクラブ、ボートの外殻など、様々な用途のために高分子繊維を変性させるのに用いる。

外観（生産状態）：高分子繊維を変性させるために用いる設備は、様々なレイアウトの仕方があるため、その外観を説明することは難しい。通常、生産工場にあわせたレイアウトに調整され、かなりの床面積を必要とする。最も特徴的なアイテムは、制御のための多数の精密なローラと機構部品である。一般的に、ローラは直径8～20 cmで、長さ30～120 cmであり、サイズは使われる炉によって決まる。ドライブローラは、原料となる有機繊維に制御された張力を与え、炉の中をゆっくりと引っ張るために使う。一般的に、ドライブローラは研磨したステンレス鋼かクロムメッキした鋼で作られ、フィラメントに一定の張力を与えるように駆動されるか、処理の一部分としてフィラメントを引き伸ばすために、プログラム化された回転速度で駆動される。このように、ローラは個別のモータで駆動されるか、一つのモータ区同軸からギアによって比例的な速度で駆動される。機械は、繊維の通過速度、各加熱領域の温度、繊維の張力を精密に制御された、多数の加熱領域を通過させられるように設計されている。処理には多種多様な反応を必要とするので、繊維は多数の炉を通過させなければならない。代表的な繊維引き抜き炉システムには、炉の中に多数のローラと分離された加熱領域がある。設備の大きさは様々である。一般的に、高温の熱処理には、縦型の炉システムが使われる。しかしながら、高分子繊維から炭素繊維などの

強力な繊維を作るには種々の処置が必要で、いくつかの装置を使う必要がある。代表的な要求としては、繊維を臨界点で取り扱うシステムの付いた低温炉や、繊維を最終的な状態に変性させるための能力を持った高温炉を挙げることができる。

外観（梱包状態）：カーボン繊維を作るのに必要なオーブン、炉、及び処理装置は、その大きさ、重量、及び環境要因に対する敏感性に応じ、梱包の仕方が変わる。一般的に、研究室規模の設備は、全体を一まとめに木枠に詰めることができ、鉄道またはトラックで出荷される。商業利用のために設計された大型の炉は、一般的にコンポーネントやユニットで出荷され、現地で組み立てなければならない。しかしながら、大きな直径の炉の中には、特大の貨物として特別な扱いをしなければならないものがある。これら大型の炉の重量は1000トン近くのものや、それより重いものもある。

(2) 加熱したフィラメント基質に元素や化合物を蒸着するための設備；及び

製造可能国
ドイツ
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的：蒸着設備はフィラメントに対する薄いコーティングに適用され、それによってフィラメントの特性を様々に変化させる。金属コーティングは導電性があり、耐摩耗性を付加し；ある種のセラミックコーティングは、ファイバーを雰囲気や接触する物質と反応することから保護する。コーティングはまた、金属母材複合材の場合のように、母材とファイバーの最終的な適合性を改善することもある。

操作方法：この装置は、フィラメントの上にコーティングを凝縮させたりデポジットさせたりするための、適切な部分真空の環境を提供する。蒸着処理にはいくつかの変形があり；最も大切な基本的な処理法の中の二つが、化学蒸着（CVD）と物理蒸着（PVD）である。CVD処理は、温度を上げて、ガスを化学反応させるか分解させることで、固体の無機のコーティングをデポジットする。時折、熱の均一性を確保するために電磁波により生成されるプラズマの中で処理し、CVDコーティングの品質を向上させるが、これをプラズマ支援CVD（PACVD）と呼ぶ。PVD処理は、スパッタリング、蒸発、及びイオンメッキによりフィラメントにコーティングをデポジットする。PVD装置は、反応室を高温にしなくても稼動することと、反応性のガスを供給する必要のないことを除き、CVD装置と似ている。

ミサイル関連の用途：加熱したフィラメントに元素をデポジットさせる装置は、ロケットモータのノズルや大気圏再突入機のノーズチップに使う繊維を作る。

他の用途：この装置は、ジェット機に使う繊維のコーティングに使う。PACVDは、現在マイクロ・エレエクトロニクス産業にとって重要な薄膜を作るための技術になっており、カーボン繊維のコーティングの連続製造に適用されている。

外観（生産状態）：CVDとPVDのチャンバ形状は変化が著しい。あるものは長い管状で、両端にシールがあり、フィラメントは通るがガスを通さないようにしてある。他のものは側面が2～3 m の大型のチャンバで、フィラメントのスプール、伸展し張力をかけるためのローラを含むフィラメントのガイド装置、必要ならば加熱領域、及び反応性のガスを保持するのに十分な広さを持っている。このような変化の著しさのため、標準的で容易に認識できる設備のわずかな部分はガス供給システム、大きな電源装置、真空ポンプ、及びおそらくは温度を制御する計器である。すべての場合、電源装置は相当な大きさと重量をしており、一般的に0.6×0.9×1.5 mで、冷却水の入り口、ポンプ、及び安全弁が付いている。PACVD装置は、プラズマを作るための電磁波発生器を有することを除けば、通常のCVDやPVDと同じように見える。

外観（梱包状態）：梱包は大きさ、重量、及び環境要因への敏感性によって変化する。一般に、研究室レベルの設備は木枠に詰めることができ、鉄道かトラックで出荷できる。しかしながら、研究室レベルの装置であっても、一般的に、繊維のスプール、モータ、及び特別なガラス製品を十分に保護した状態で納入できるよう、コンポーネントを別々に梱包する。商業利用のために設計された大型システムは、通常コンポーネント毎に出荷され現地で組み立てられる。

(3) 強固なセラミック（例えばアルミナ）を湿式紡糸するための装置；

特性と目的：湿式紡糸装置は液体と固体の混合物から長い繊維を作るために用いる。この繊維は更に処理されて、高強度で耐熱性の高いセラミック繊維になり、セラミックまたは金属マトリックス複合材料の原料になる。

製造可能国
ドイツ
日本
ロシア
英国
米国

操作方法：強固なセラミックに湿式紡糸では、繊維状の粒子のスラリを物理的化学的に処理し、紡績突起と呼ばれるオリフィスを通して繊維を引き抜く。繊維を作り出すチャンバは、回転させるか内部に混合装置を有するかのいずれかになっており、フィラメントを絡み合わせる渦を発生させる。材料は紡績突起から押し出され、紡績突起周辺の湿式バスに使われるバインダシステムに応じ、温度または化学反応で凝固させられる。バスは、冷やされたときに繊維となるものを保持し、安定させる。

ミサイル関連の用途：湿式紡糸装置は、ミサイルのノーズチップやロケットエンジンのノズルを作るための、上質のセラミック繊維を作るのに使われる。このような繊維は、巡航ミサイルのラムジェットやターボジェットエンジンの部品にも使われる。

他の用途：湿式紡糸装置は、小型のガスタービンエンジンの部品や、化学処理容器や、耐熱性構造材料の原料となる、セラミック繊維を作るのに使われる。セラミックファイバーやウィスカーは、他の複合材料と一緒に使うことで、いろいろの商品の強度や耐熱性を高めるのに使うことができる。

外観（生産状態）：湿式紡糸装置の主要コンポーネントは円筒形の化学反応容器である。研究室やプロトタイプの湿式紡糸装置にはガラス製品が採用されるが、生産用の質式紡氏装置ではステンレス鋼かガラスコーティングの反応チャンバが使われる。一般的に、繊維を押し出すダイスが取り付けられる、容器底部に向かってテーパが付けられている。化学反応チャンバと関連する装置としては、繊維の原料になる化学物質のスラリを入れる（直径より長さの方が長い）円筒容器、これに取り付けれたガス排出管と圧力計、固定部と回転部の両方を有するガラス管組立、その固定ガラス管につながるボール弁、回転ガラス管を動かすモータと制御装置、出来上がった繊維を巻き取るスナッパローラと巻き取りリールを挙げることができる。

外観（梱包状態）：同じ大きさの工業用設備と同様の梱包が為される。一般的に、研究室レベルの装置はすべて組み立てた状態で木枠に梱包でき、鉄道やトラックで出荷できる。商業利用に使う大きな装置のコンポーネントは、個別に箱か木枠で梱包し、出荷されて、現地で組み立てられる。

(e) 特殊な繊維表面処理、又はプリプレグやプリフォームを作るために設計された、又は改修された装置。

注記：

(2) サブアイテム（e）に包含される装置は、ローラ、引き伸ばし装置、コーティング装置、切断機、打ち抜きダイスが挙げられるが、それに限定するものではない。

製造可能国
フランス
ドイツ
スウェーデン
スイス
英国
米国

特性と目的：繊維の表面処理とプリプレグ化の装置は、高品質の複合材料を作る準備として、繊維にコーティングをするために用いる。表面処理は繊維の接着性を上げたり、電気特性を変えたりし、プリプレグ化は複合材料として硬化させるために、繊維（ファイバ、ロービング、又はテープ）に十分な樹脂を含浸させる。

操作方法：繊維、フィラメント、ロービング、又はテープは、この装置の中で、エッチングのための反応物液体や樹脂（サイジング：糊付け）の入った、一連の浴槽を通過する。反応物は、次の工程のために、繊維の表面をエッチングするか活性化させる。材料はローラによって反応物の浴槽を通過し、単純にドブ漬け処理される。どの位エッチングするとか、どの位の糊付けがなされるとか、ローラの数と回転速度によって決定する。ヒータはエッチングシステムの反応性を修正するため、糊付け浴槽の粘性を制御するため、糊付けを安定させるように化学反応を加速するため、また製品を乾燥させるために用いる。

ミサイル関連の用途：この装置は、ノーズチップ、モータケース、及び排気ノズルのようなミサイル部品の、接着性を改善したり、強度を高めたりするために、ミサイル部品の製造に使われる様々な繊維の、表面処理に使われる。

他の用途：ボートの船体からゴルフクラブまで、商業的に適用される複合材料の繊維に使われるものと同じ設備である。

外観（生産状態）：研究室レベルのものは小さなローラとヒータ銃を備え、プロトタイプでの繊維の表面処理とプリプレグ化に使えるだけである。生産レベルのためには、多重のラインでいっぺんに処理するような、大きな装置になる。7本の糊付けラインで樹脂を含浸する機械を図6-8に示す。乾燥した繊維が左から供給され、右手の湿ったローラで樹脂が含浸される。たくさんのラインで糊付けする機械を図6-9に示す。この処理工程にはヒータを数層積み重ねるようなものもある。このようなシステムのすべてがローラを持ち、繊維原料を動かし続け、張力をかけ、余分な液体を搾り出す。これらはまた炉を有し、ローラを使って複雑な経路をとり、フィラメントが炉を数回横切るようにしてある。

Figure 6-8: A machine adding resin to seven lines of roving.

図 6-8：　7 本の糊付けラインで樹脂を含浸する機械。

Figure 6-9: A machine processing numerous lines of roving.

図 6-9：多数の糊付けラインを持つ処理機械。

外観（梱包状態）：研究室用の小さい装置を除き、通常の装置は部品毎に個別に梱包し、出荷して、現地で組み付ける必要がある。その理由は、化学薬品を入れるための浴槽と、繊維を取り扱う装置は、異なるタイプの梱包が必要なことである。化学薬品を入れる浴槽は単純な段ボール箱で梱包できるが、ローラは、フィラメントを傷つけないように精密で特別な表面仕上げがしてあり、緩衝材とかなりしっかりした木枠で梱包する必要がある。電気制御装置があるのであれば、他の電気製品と同様の「割れ物注意」の梱包が必要である。

(f) 「技術データ（処理条件を含む）」及び、複合材又は部分的に処理された複合材のために使うオートクレーブ又はハイドロクレーブの、温度調整、圧力、又は雰囲気に関する手順書。

製造可能国

オートクレーブやハイドロクレーブは一般的な製造工程に使われているので、殆どの工業国で作られている。この処理に関する一般知識は広く知られているものの、特定の品物の製造工程のデータは専有（プロプライエタリ）データである。

特性と目的：プロセス制御のデータは、有用な構成部品を作るために複合材料や、部分的に複合材料処理したものを作る、処理工程を管理するために使われる。オートクレーブやハイドロクレーブに関する興味深い技術データとは、一般的に、処理条件や処理手順、ツーリングや硬化準備作業、及び硬化条件の制御に関するものである。温度、圧力、時間の詳細な処理条件設定は、製作した部品の強度、耐衝撃性、弾性係数に対して重要な効果を持つので、製造メーカは固有の処理条件を開発し、特定の部品を生産するための情報をめったに開示しない。処理条件、硬化時間、及び作業手順は、通常、特定の部品に対して個々に作成する。

操作方法：これらデータは、オートクレーブ及びハイドロクレーブで特定の、耐熱性の高い、複合材料を作るとき、又は部分的に処理するときのガイダンスとして使う。硬化作業の操作は人手で行うことも可能であるが､一般にはコンピュータで行う｡後者の場合には、あらかじめ規定した処理サイクルに基づいて行われるか、知能情報処理の形をとる。それは、解析的な処理モデル、処理される部品の中あるいは近傍に取り付けられて線さ、及び人工知能としてシステムに組み込まれた人間の知識に基づいて、コンピュータが意思決定を行う。

ミサイル関連の用途：これらデータは、大気圏再突入機のノーズチップやロケットモータのノズルのような、耐熱性の高いアブレーション性の部品に使うプリフォーム又は複合材の製作に関する指示書の一部をなす。

他の用途：ボートの船体からゴルフクラブまで、商業的に適用される複合材料の繊維に使われるものと同じ設備である。

外観（生産状態）：一般的に、技術資料は構想図、計画書、ダイアグラム、モデル、式、設計図面、仕様書、マニュアル又は指示書の形をとり、書かれたものであったり、ディスク、テープ、及びROMなどの記憶媒体や装置に記録されたりしている。これらデータは、オートクレーブやハイドロクレーブのメーカーの付属文書の一部として、又は、樹脂メーカーの付属書の一部として、ハンドブックや図表の中に用意されているのが通常である。

メーカーの付属書は、その構成品の各々を参照しており、それぞれの仕様書や取扱説明書を集積してある。これらコンポーネントとしては、硬化処理のあいだ温度や圧力をモニタし制御するためのコンピュータや半導体制御装置などがある。

外観（梱包状態）：設備に付随し、キュアに関する情報を含むデータは、一般的にルーズリーフに綴じるか、分冊にした指示書のセットになっている。付随文書はレポート形式になっており、新設備のレポートも伴っている。樹脂やプリプレグのメーカーが供給するデータは、データシートの書式になっており、原材料の樹脂やプリプレグ材料のデータを伴っている。

カテゴリⅡ～アイテム7

熱分解技術

以下に述べる熱分解蒸着及び稠密化の設備及び「技術」：

(a) 鋳型、中子、又は他の基質の上に、温度1,300℃から2,900℃、圧力130 Pa（1 mmHg）から20 kPa（150 mmHg）の範囲で、原料物質であるガスから熱分解を用いて物質を形成する「技術」であって、原料ガスの成分、流速とプロセス制御のスケジュール、及びパラメータに関する技術を含むもの。

特性と目的：熱分解蒸着は高温の処理で、部品を作るための鋳型や中子の表面に、高密度の金属又はセラミックの薄膜を蒸着させるのに使われる。これはまた、基材とコーティング材とのあいだの接着力を高めるために、別の物質をコーティングするのにも使われる。これら処理の目的は、ロケットシステムの重要部品が稼動する極限環境の中で、コーティング又は薄膜を蒸着した部品が、生き残る能力を改善することである。

熱分解による物質の蒸着や原料物質のガスのために使う一般的な手法は広く知られている。しかしながら、特定の方式、処理手順、及び装置の設定は、通常は経験的に得られるものであり、企業は固有の企業秘密と考えている。開示制限されるデータ（技術）は、指示書、技術書、訓練書、実用知識集、及びコンサルティングサービスなどの、技術支援の形をとる。技術は構想図、計画書、ダイアグラム、モデル、式、設計図面、仕様書、マニュアル又は指示書の形にまとめられ、書かれたものであったり、ディスク、テープ、及びROMなどの記憶媒体や装置に記録されたりしている。

(b) 前述の処理のために特別に設計されたノズル

特性と目的：熱分解蒸着用のノズルは、蒸着をさせたい表面に未反応のガスを導く。ノズルは可動式であるか、高温高圧の化学蒸着（CVD）炉の中にある、全表面をカバーできるように設置しなければならない。

製造可能国
フランス
ドイツ
ロシア
米国

操作方法：CVD炉に用いるノズルは、冷たい未反応ガスを反応処理したい表面まで届ける。ガスは、ノズル内面ではなく意図した場所でコーティングを発生させるように、未反応でなければならず、炉壁でなく対象物に噴霧されるように処理表面に近くなければならない。ノ

ズルは塗装のスプレーガンのようであり、処理表面に近づけて使われる。

ミサイル関連の用途：ノズルは熱分解蒸着の設備の部品として必要なもので、耐熱性の高い重要部品、例えばロケットノズルや大気圏再突入機のノーズチップのようなものを作るのに使われる。

他の用途：これらノズルは、ジェットエンジン用の超耐熱部品を作るのに使われる。

外観（生産状態）：CVD炉のノズルは、炉の高温に耐えるよう、グラファイトのような高温耐性材料を用いるか、水冷するように設計されている。ノズルのサイズはおよそ炉の幅の半分である。小さなノズルは一般的にグラファイトで作られるが、それは安く、簡単に取り替えられ、軽量（概略0.5～2.5 ㎏）だからである。生産用の炉に使う大きなノズルはしばしば金属で作られ、水冷却を必要とし、取り付け用フランジを有することもあり、25 ㎏以上の重さをしている。

ノズルは、炉や施工表面の大きさによって、様々な長さで作られる。大きく、複雑で、水冷式のノズルには、長さ1.5 mで、管路の部分の直径が20 ㎝のものまである。しかしながら、殆どのノズルは部分的に特別注文で設計しているので、標準的な形とか大きさというものはない。

外観（梱包状態）：ノズル及び熱分解蒸着設備の梱包は、極めて耐久性のあるパイプに幾分脆いバルブや取り付け具が付いたものを、ダメージから護るようにする。一般的に、いくつかのノズルはしっかり保護された包装がされ、大きな炉体とは別梱包にして一緒に出荷される。

(c) 大気圏再突入機のノーズチップ及びロケットノズルの構造用複合材料の蒸着及び熱分解のために設計され又は修正された、設備とプロセス制御、及び特別に設計されたソフトウェア。

特性と目的：専用設備とプロセス制御は、ロケットノズルや大気圏再突入機のノーズチップに用いる構造用複合材料を作るために必要な、蒸着及び熱分解に不可欠である。これら構造用複合材料の製造のため、設備を稼動させ、及び/又はプロセスを制御するのに、しばしば

特別設計のソフトウェアが必要になる。この種の材料の製造においては、通常様々な条件、例えば高温及び/又は高圧のサイクルを経る必要がある。サイクルにおける環境条件の正確な制御とそのタイミングが、受容できる結果を保証するためのキーである。このサブアイテムには、これら材料の製造に必要な、様々な処理条件の書かれた文書（技術データ）を含むものである。

操作方法：蒸着と熱分解のための設備、プロセス制御、及びソフトウェアは、構造用複合材料の製造工程、材料及び最終製品（すなわちロケットノズル及びRVノーズチップ）の取り扱い、処理、及び仕上げの至る所で使われる。

ミサイル関連の用途：この設備、プロセス制御、及びソフトウェアは、ロケットノズルや大気圏再突入機のノーズチップに使う、（カーボン - カーボン製品を含む）構造用複合材料の製造に用いられる。

他の用途：これらのアイテムは、金属の拡散接合、粉末冶金、及び金属部品の表面処理に使われる。

外観（生産状態）：この設備は他の製造設備と類似するばかりでなく、小さな（研究サイズ）アイテムに含めることができる。プロセス制御は技術資料の形をとり、例えば紙、磁気記憶装置、又は他のメディアに記録される。特別設計のソフトウェアは、商業的に入手可能なソフトウェアと、目視検査では識別できないのが普通で、コンピュータのディスク、CD-ROM、等々の形をとる。

外観（梱包状態）：設備の大きな部分はコンポーネントで出荷され、一方、小さなものは組み込まれて出荷される。これらアイテムは、他の産業設備と同様に、通常、木箱またはパレットに載せて出荷される。プロセス制御（技術データを含む）は、他の情報と同じように、紙、磁気媒体、又はその他のメディアで出荷される。ソフトウェアはディスク、CD-ROM、等々で運搬できるが、ネットワークでさえ可能である。ソフトウェア及び技術データはそれぞれの設備の出荷用コンテナに入れられることもある。

アイテム7に対する注記：

(1) 上記（c）の規制に含まれる設備に、下記の全ての条件を満たすアイソスタティックプレ

スがある：

(a) 最大稼動圧力69MPa（10,000 psi）又はそれ以上のもの；

(b) 600℃又はそれ以上の温度環境を維持できるように設計されたもの；及び

(c) 内径254 mm（10インチ）またはそれ以上のチャンバを有するもの。

製造可能国
フランス
ドイツ
ロシア
米国

特性と目的：アイソスタティックプレスは、ロケットノズル又は大気圏再突入機のノーズチップの多孔性カーボンプリフォームに、高圧の下でカーボンを注入するのに使われる。このプロセスは、プリフォームの稠密化、空隙への重点及び空隙の実質的な消滅をもたらし、それにより、対象製品の密度と強度を増加させる。

操作方法：処理対象物はチャンバ内に設置され、炉の熱い領域に下げられる。蓋が下ろされ密封される前に、全ての水及び電気の接続がなされ、プロセス計測系の接続がなされる。対象物が加熱されると、適度の稠密化が達成されるまで、加圧される。出来上がった製品は吊り上げて取り除かれ、電気ヒータに接触してショートを引き起こさないようにする。

ミサイル関連の用途：アイソスタティックプレスは大気圏再突入機のノーズチップ、及びロケットモータのノズルインサートを作るのに使われる。

他の用途：これらプレスは同様の金属の拡散接合、ラミネート（銀 - ニッケル - 銀、又は銅 - ステンレス）を作るための異種金属の拡散結合、及びシームレスジョイントを作るのに使われる。これらは様々な粉末冶金のアプリケーションに使われる。さらにこれらは、金属の鋳造品や鍛造品の品質改良に用いられ、静水力学的な力で欠陥を押しつぶして閉じてしまう。

外観（生産状態）：アイソスタティックプレスは熱分解反応が発生している間、稠密化が行われるように修正をするためのものである。研究室サイズのシステムの典型は、図7-1に示すように、三つの主要装置：圧力チャンバ、加圧器、制御盤を有する。圧力チャンバは通常縦型の圧肉円筒で、取り外し型の高圧クロージャ、又はプラグを上端に有する。二つの例を図7-2に示す。これらは水冷式で、ホースやパイプのための接続部を持っている。プレスはエネルギー吸収用の遮蔽で包まれる場合もあり、図7-1の左端に部分的に取り外されたものを示す。この遮蔽はシステムが稼動する工場で設計される場合もあり、しばしばチャンバは地下に設置される。圧力チャンバには隔離された部屋があり、処理領域からガスを確実に排気させて、加熱領域に流れ込まないようにする。

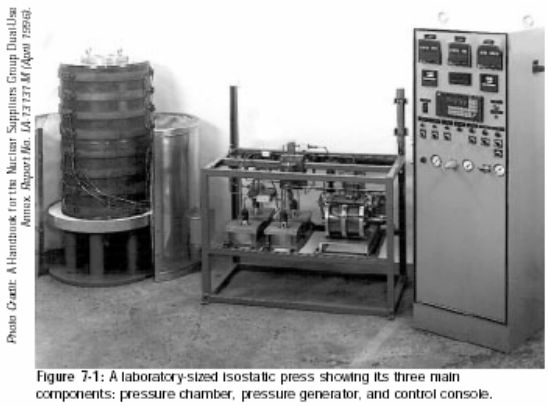


Figure 7-1: A laboratory-sized isostatic press showing its three main components: pressure chamber, pressure generator, and control console.

図 7-1：研究室サイズのアイソスタティックプレスを、三つの主要コンポーネント、圧力チャンバ、加圧器、制御盤とともに示す。

Figure 7-2: Two removable high-pressure closures, showing holes for hoses or pipes.

図 7-2：二つの取り外し可能な高圧クロージャ、ホースやパイプを通す穴が見える。

高圧発生器は、大きなピストンを動かすのに空気を使い、それはチャンバで使うガスを加圧する小さなピストンに直接つながっている。これら単純なポンプは圧力比10～1,000の間で作動し、最大、約1,400 MPaまで加圧できる。圧力変換機のピストン/シリンダ機構は、図7-1に示す高圧発生器に見ることができる。

制御盤は、図7-1の右側に示すような、温度及び圧力の制御及び記録に使う、典型的な産業用計測器を取り付けたダッシュボードがある。コンソールには通常コンピュータとキーパッドがあり、プレスの運転制御に必要なデータ入力に使う。アイソスタティックプレスはかなり大きい。二種類のプレスの上面と側面の写真をそれぞれ図7-3と7-4に示す。図7-3に示す、厚肉の圧力容器と大きなねじ込みプラグに注目のこと。別のアイソスタティックプレスが図7-5の背景に示されている。

Figure 7-3: A very large isostatic pressure vessel and threaded plug.

図 7-3：大きなアイソスタティックプレスとねじ込みプラグ。

外観（梱包状態）：アイソスタティックプレスの構成品は別々に出荷され、最終設置場所で組み立てられる可能性がある。梱包は購入者の要求次第であるが、木製パレットと木枠

Figure 7-4: Side view of a large isostatic press.

図 7-4：大きなアイソスタティックプレスの側面写真。

図 7-5：背景に写っている、軽量の金属フレームに囲まれたアイソスタティックプレス。

にスチールバンドと補強材をつけたものが一般的である。

アイソスタティックプレスのコンポーネントを入れた二つの木枠を図7-6に示し、同様のプレスの別の木枠を図7-7に示す。大きなチャンバは厚い壁のために非常に重く、図7-8に示すように、スチールバンドをかけた円筒形の木枠で梱包しても良い。

Figure 7-6: Shipping crates for an isostatic press.

図 7-6：アイソスタティックプレスの出荷用木枠

Figure 7-7: Alternative shipping crate for an isostatic press.

図 7-7：別方式のアイソスタティックプレスの出荷用木枠

追加情報：通常のアイソスタティックプレスと、熱分解による稠密化のために改修したものとの相違点は、前者においては分解が発生せず、後者には発生することである。ヒータにカーボンが堆積すると電気の短絡を引き起こすので、それを回避するには、稠密化を行う加熱チャンバに配管を施し、ガス取り扱い施設と加熱領域を直接つなぐようにする。

Figure 7-8:
Shipping crate for a very large isostatic press.

Photo Credit: A Handbook for the Nuclear Suppliers Group Dual-Use Annex, *Report No. LA-13137-M (April 1996)*

図 7-8：非常に大きなアイソスタティックプレスの出荷用木枠

注記

(2) 上記（c）の規制に含まれる設備に、カーボン - カーボン複合材料の稠密化のために設計された又は改修された化学蒸着炉がある。

製造可能国
フランス
ドイツ
ロシア
英国
米国

特性と目的：CVD炉は、ロケットノズル又は大気圏再突入機のノーズチップの、多孔性のカーボンプリフォームにカーボンを吹き込むのに用いる。稠密化と称される、この処理はプリフォームの空隙をつめ、消滅させ、それによって処理対象物の密度と強度を増加させる。

操作方法：稠密化の処理を行うために、CVD炉は等温で、又は熱傾斜をつけて用いる。処理される物体はチャンバの適切な場所に置かれ、炉内の加熱領域に降ろされる。蓋が下ろされ、密封される前に、ガス、水、電気、全ての接続、及び処理用の計測器が接続される。加

熱と蒸着ガスの供給の処理シークエンスは自動化されているが、炉壁に作られた覗き穴から、オペレータが処理の進展を監視する。

ミサイル関連の用途：CVD炉は軽量のカーボン - カーボン製のロケットノズル又はノーズチップを作るのに用いる。カーボン - カーボン部品は軽量で高強度であり、システムの性能を向上あせる。

他の用途：CVD炉は光学製品のコーティング、ある種の医療器械や医療部品（例えば心臓の弁）、及び刃物に使われ；精密な表面のコーティングや研磨に；また、半導体の製造にも使われる。

外観（生産状態）：CVD炉は大きく、二重の壁に囲まれ、気密性の蓋の付いた円筒容器である。典型的なCVD炉は、加熱領域、電気ヒータ、及び絶縁材を内部に収容するために大きい。高さ1.5 m未満、直径1 m未満の炉は研究室サイズとみなされ、一個のノーズチップ又はノズルインサートをかろうじて製作できる。生産レベルの炉の高さは2 mより高く、直径は2 mより大きい。これらの炉はいくつかのポートを有し：少なくとも一つは電力供給、その他は計測のためで、温度計測を光学的又は赤外高温計で行うときには一つかそれ以上の覗き穴を有する。

これらは二重壁をしており、運転中水冷することができる。電源ケーブルは太く、多分同じく水冷されている。蒸発機は炉の中に収納され、グラファイト誘導加熱か抵抗線ヒータで、2,900 ℃まで加熱される。二つの典型的な炉が、蓋なしで、図7-9 に示されている。重い水冷式のコネクタの付いた誘導加熱装置が、二つのうちの小さい方の炉と電源装置の間を接続しているのも示されている。誘導コイル、蒸発器、及びケイ素鋼の分流器が 図7-10 に示されている。分流器は炉壁との間で起こる誘導干渉を防止する。典型的なCVD炉による生産体制はいくつかのコンポーネントから成り、図7-11 に示す左から右に：プリフォームに液状の樹脂を加えるインプレグネーション炉；計測器と操作盤；69 MPaの能力を持つ加圧炭化炉；及びガスからカーボンの熱分解蒸着を行うCVD炉である。

外観（梱包状態）：設備が大きく重いので、梱包は個々の部品を木枠に詰めパレットに載せたものからなる。大きな蓋、電源装置及び炉体には、動かしたり組み立てたりするときに助けになるように、しばしばリフト用の部位や吊り輪が取り付けられている。

Figure 7-9:
Two small CVD furnaces and an induction power supply.

Figure 7-10: Inside of a small CVD furnace showing the retort, heaters, and insulation.

Photo Credit: Alliant TechSystems, Inc.

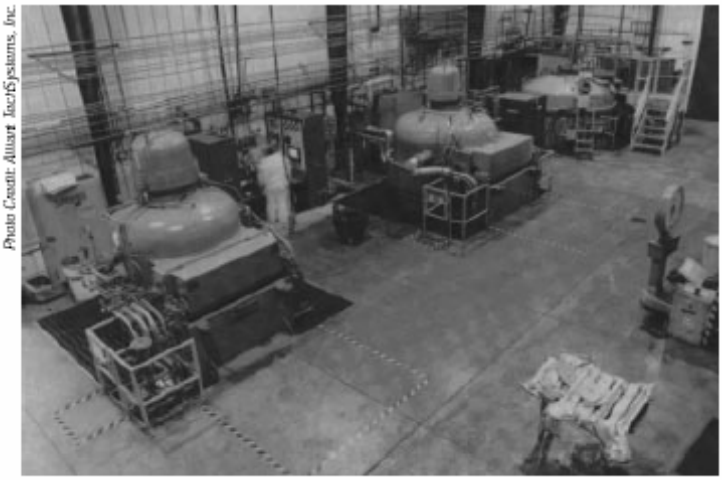


Figure 7-11:
A typical production setup for carbon-carbon or ceramic matrix nose tips and nozzles.

図 7-9：二つの小さな CVD 炉と誘導電源装置。
図 7-10：小さな CVD 炉の内側。上は付き、ヒータ、及び絶縁材が見える。
図 7-11：カーボン - カーボン又はセラミック母材のノーズチップ及びノズルの、典型的な生産体制。

カテゴリⅡ～アイテム8

構造用材料

下記に示す、アイテム1に使用可能な構造材料：

(a) アイテム1のシステム及びアイテム2のサブシステムに使うために特に設計された構造用複合材料、積層材及び複合材料製品、及び、樹脂を含浸したファイバプリプレグ及び金属を被覆したファイバプリフォームであって、有機材料またな金属の母材とともに使われて、繊維強化材又はフィラメント強化材を作るもので、比強度が7.62×10^4 m（3×10^6インチ）以上で、比弾性率3.18×10^6 m（1.25×10^8インチ）以上のもの；

アイテム8に対する注記：

(2) 上記（a）で規定した樹脂を含浸した繊維のうち、使用している樹脂が、硬化後に、ASTM D4065に規定する、又は同等の規格による規定で、ガラス転移温度（Tg）145℃以上のものだけが該当する。

構造用複合材料、積層材及び複合材料製品

製造可能国
中国
デンマーク
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
英国
米国

特性と目的：複合材及び積層材はミサイル部品を作るのに使われ、金属その他の材料で作られた部品より、しばしば軽く、強く、耐久性がある。

ミサイル関連の用途：複合材料と積層材は弾道弾又は巡航ミサイルを含む無人機（UAV）の殆ど何処にでも使われる。固体ロケットモータケース、段間部、翼、吸気口、ノズル、熱遮蔽、ノーズチップ、構造部材、及び骨組みなどに使われる。

他の用途：複合材料は、要求されるいかなる形状にも作れ、生産工程を短縮し、最終製品に多大な柔軟性を与える。これらは民生品にも、軍用機にも、レクリエーション製品（スキー、テニスラケット、ボート、及びゴルフクラブ）にも、社会基盤（橋の修理及び小さな橋）にも使われる。

外観（生産状態）：複合材料は、それが使われる目的の形状に作られるが、金属の構造に比べて軽い。強化材が、複合材製品の表面に、しばしば織布状のパターンを形成する。織布プリプレグを使ったとき、これが顕著である。職布を使わなかった場合でもテープによる線形

のパターンが現れるが、しかしながら、塗料のような被覆によりパターンが隠されることもある。

外観（梱包状態）：複合材料構造物は他の構造物と同様、表面の磨耗や外力による変形から保護するため、発泡剤などの材料を使って梱包される。これらの表面は金属ほど硬くないので、また、設計方向以外の強度は金属より大分弱いので、そのような保護は重要である。

樹脂を含浸した繊維プリプレグ及び金属を被覆した繊維プリフォーム

製造可能国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
南アフリカ
英国
米国

特性と目的：プリプレグやプリフォームは複合材構造物を作る基礎資材である。プリプレグは（ガラスやカーボンなどの）繊維で作った布状の材料に樹脂を含浸させたものにつけた名前である。プリプレグは型（例えば中子や鋳型）の上に所望の形状に積み上げられる。時には、積層材にするために、何層か重ねることがある。プリフォームは堅固な、三次元形状の、繊維の構造物で、所望の製品と同じ形状をし、殆ど同じ寸法をしており、樹脂が含浸されている。硬化させた後、プリフォームは機械加工されて最終形状にする。通常、これら材料は175℃以上の温度で樹脂の完全な重合によって硬化され、高いガラス転移温度を達成する。

ミサイル関連の用途：プリプレグとプリフォームは、弾道弾又は巡航ミサイルを含む無人機（UAV）の殆ど何処にでも使われる複合材料と積層材の先駆物質である。固体ロケットモータケース、段間部、翼、吸気口、ノズル、熱遮蔽、ノーズチップ、構造部材、及び骨組みなどに使われる。

他の用途：プリプレグとプリフォームは要求に見合った形状の殆どの複合材料の形成に用いる。これらは民生品にも、軍用機にも、レクリエーションの製品にも、社会基盤にも使われる。

外観（生産状態）：プリプレグは柔軟な樹脂が含浸された繊維製品である。これらは細いフィラメント、数分の一ミリから数センチの幅のテープ、数メートル幅までの布で作られる。これらは通常、糸や布地と同じようにスプールかロールに巻かれている。図8-1に糸状のプリプレグの三つの例を示す。いくつかの材料に黄色味が差していること及び糸の剛性か粘着性の違うことを除き、含浸していない糸と同じように見える。様々な糸、布地、及びテープを図8-2に示す。プリプレグは変形するものの、布地やテープや糸のように垂れ下がることはない。しかしながら、それでもまだ複合材構造物の部品を成型するのに十分な変形が可能である。プリプレグを所望の部品に概略合わせた形状に作ることもあり、これをプリフォームと呼ぶ。ロケットノズルのスカートにするプリフォームの例を図8-3に示す。加熱し、硬化させた後、これらプロフォームは最終的な形に機械加工され、仕上げられる。

Figure 8-1: Examples of prepreg yarn.

図 8-1：プリプレグになった糸の例

Figure 8-2: Examples of fabrics, tapes, and yarns.

図 8-2：布地、テープ及び糸の例。

Figure 8-3: Preforms of rocket nozzle skirts.

図 8-3：ロケットノズルスカートのプリフォーム

外観（梱包状態）：ここで述べている繊維材料は、樹脂を含浸した後は冷蔵保管しなければならない。冷蔵保管は、複合材料を製造する前に樹脂が重合し、硬化してしまうのを防止する。もし温度を－20 ℃に保持すると、プリプレグの貯蔵寿命は約6ヶ月である。輸送の間、十分に低い温度に保つため、プリプレグをドライアイスで冷却する特殊な容器に入れるか、機械的に冷蔵する貨物用コンテナを使う。ドライアイス冷却でプリプレグを出荷するときの梱包状況を図8-4と8-5に示す。

Photo Credit: A Handbook for the Nuclear Suppliers Group Dual-Use Annex, *Report No. LA-7373-M (April 1996).*

図 8-4：輸送の間、カーボン繊維のプリプレグテープのスプールの周りに、ドライアイス容器を保持する、特別なダンボール容器。ドライアイスは、通常、ビニール袋に入れてスプールの周りに置かれる。

Photo Credit: A Handbook for the Nuclear Suppliers Group Dual-Use Annex, *Report No. LA-7373-M (April 1996).*

図 8-5：蓋を開け、保持具を外したプリプレグ輸送容器の写真。

(b) ロケットシステムのために設計された、再飽和させた（例えばカーボン/カーボン）熱分解材料。

製造可能国
フランス
インド
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的：カーボン/カーボンは、ピッチ、レーヨン又はポリアクリロニトリル（PAN）から作ったカーボン繊維と、炭素が支配的な母材からなる複合材料である。これは、通常、炭素含有率の高い樹脂を母材に使ったものを、高熱によって炭素以外の成分を追い出して作る。それは軽量で、耐熱性に優れ、熱衝撃に強く、必要な形状に成型し易い。

ミサイル関連の用途：カーボン/カーボン材料は、高温とアブレーションに耐えなければならない表面である、ロケットモータのエクジットコーンとノズル、大気圏再突入機のノーズシップ、熱遮蔽部、翼の前縁に使われる。

他の用途：カーボン・カーボン構造は軍用機にも民間航空機にも採用され、例えば、高温のブレーキシュー、及びその他の高強度・軽量を必要とする部品、例えば翼の付け根に使われる。これは厳しい環境、通常極めて高温の製造環境で使われ、長寿命を必要とする工具、例えば、溶解した鉄鋼を注ぐヒシャク、超高温炉のヒータ、及びホットプレスにも使われる。

外観（生産状態）：ロケットシステムのために設計された典型的なカーボン・カーボン部品は黒色で、強化繊維によって作られる表面の模様を有する。ノーズチップとロケットノズルは、通常、ブロック、またはビレッツ（塊）又は形状に織り上げたものから、機械加工される。ロケットシステムに使えるブロックと機械加工されたロケットノズルスロートを、それぞれ図8-6と8-7に示す。ノズルスロートの表面には、繊維強化材特有の模様が見える。

図 8-6：ロケットノズルに機械加工する前のカーボン・カーボン材のブロック。大きなブロックの外径は約 70 cm。

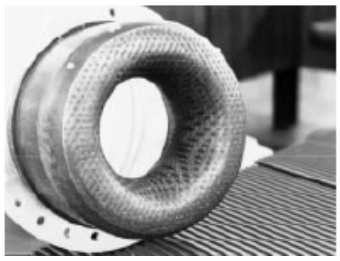


Figure 8-7: A carbon-carbon rocket nozzle throat showing the fabric pattern of the underlying fibers.

図 8-7：カーボン・カーボンのロケットノズルスロート。使われた繊維による布地のパターンが見える。

外観（梱包状態）：機械加工前のカーボン・カーボン材のブロックは表面が十分でこぼこであり、段ボール箱に充填材と一緒に梱包して出荷される。機械加工された部品は、壊れにくいとはいえ、さほど硬くは無く簡単にえぐれたり傷ついたりするので、注意深い梱包が必要である。

(c) ロケットノズル及び大気圏再突入機のノーズチップに使用できる微細結晶のグラファイト・バルク（温度15℃で測定した密度1.72 g/cc以上で、結晶粒のサイズ100×10^{-6} m（100ミクロン）以下）、熱分解グラファイト、又は繊維強化グラファイト。

製造可能国
ブラジル
ロシア
米国

特性と目的：微細結晶粒のグラファイト・バルクは高強度耐熱部品を作るために用いる。グラファイトは、温度が室温から2,700℃に上昇したとき、強度が2倍になることが知られる唯一の物質である。カーボン粒子はピッチ、粘性のあるコールタール残渣と一緒に型に入れられ、熱と圧力がかけられる。
出来上がったブロックは必要な部品に容易に機械加工できる。これはまた、熱衝撃への耐性

に優れ、熱と電気の伝導性が良い。熱分解グラファイトは高温の蒸着で作られるが、熱伝導率が均一でなく、加熱時にクラックが出やすいので、広く使われることは無い。

ミサイル関連の用途:微細結晶粒グラファイト・バルクは、大気圏再突入機のノーズチップ、推力方向制御タブ、及びノズルスロートに用いる。ノーズチップに使うビレットは、各辺が数センチの小さな立方体である。

他の用途 : グラファイトは、生物医学用品、原子炉、金属部品名鋳造及び製造、及び極限の大きさの炉に使われる。グラファイトは放電加工の電極として好まれている。グラファイトを金属に添加し、電動モータのブラシや、多くの機械部品として使われるベアリングに用いる。

外観（生産状態）：バルクのグラファイトは濃いグレーから黒の非常に細かい粉末である。処理されたグラファイトの密度は1.72から2.2 g/ccで、後者は熱分解グラファイトである。機械加工されたグラファイト部品は黒く、機械加工の方法によっては光沢を有する。微粒子グラファイトは表面にピットが無いこと
や製品表面の細部の特徴で識別できる。グラファイトは金属より大分やわらかく、ボールペンの先で表面をくぼませることができる。これら特徴を有する製品の典型例を図8-8に示す。

図 8-8 : 微細粒子グラファイト・バルクから作った様々な部品。

外観（梱包状態）：これらの材料は、繊細な表面を保護するため、また、しばしば表面の汚染を防ぐため、包装される。一般的に、もろい部品を包装するのに使う材料（すなわちクッションシート、発泡材、等々）に包んで、ビニール袋かプラスチック容器に入れられる。

(d) ミサイルレドームに使用できる（100 Hzから10,000 MHzの周波数において誘電定数が6以下の）セラミック複合材料、およびノーズチップに使用する、機械加工可能なシリコンカーバイド強化の不燃セラミック ;

セラミック複合材

製造可能国

セラミック複合材
フランス
ドイツ
インド
日本
ロシア
米国

シリコンカーバイド複合材
フランス
日本
米国

特性と目的：セラミック複合材料は熱遮蔽材として使用するのに十分な強さと熱特性を有している。しかしながら、カーボンを基調にした材料とは異なり、世良ニックは絶縁体で、電気を通さず、電磁放射線（例えば電波）を透過できる。これらは、機体への又は着たいからの通信が行われる間、構造や搭載機器を熱から護るのに有益である。

シリコンカーバイド強化セラミック複合材は1,200℃の酸化環境で使用するか、コーティングを施してもう少々高い温度で使うのに適している。フィラメントで補強したシリコンカーバイド複合材は大変に丈夫で、密度が2.3 g/ccであり超合金よりかなり軽い。これらの特性は、これを大気圏再突入気のノーズチップに使えるようにしている。

ミサイル関連の用途：セラミック複合材料は大陸間弾道弾の大気圏再突入機のアンテナ用窓に使われてきた。シリコンカーバイドの燃えないセラミックのノーズチップは硬く非常に耐熱性が高い、しかしながら、壊れないが欠け落ちる傾向があるので、広く使われることは無い。

他の用途：超耐熱性セラミックはガスタービンエンジン、自動車エンジン、炉、及び太陽エネルギー受容器に使われる。これらの用法は、研磨用のロッド及びボール、炉のタイル、溶接用のカップとノズル、サンドブラストのノズル、及び電子製品のための、様々な複雑な部品などがある。これらは高い温度の製造工程に使う一般的な工具用材料である。シリコンカーバイド補強セラミック複合材は、一部の軍用ジェットエンジンの推力ベクトル制御フラップに使われる。これらすべての材料の用途は成長している。

外観（生産状態）：大気圏再突入機のアンテナ窓に使うセラミック複合材は、熱応力による破壊を防ぐために、一般的にセラミック繊維強化材を用いる。アンテナ窓を作る三次元のシリカ・シリカのブロックは表面に明らかな繊維模様を表している。この材料は、湿気への障壁となる透明な保護コーティングで、しばしば覆われている。シリコンカーバイド強化セラミックは同様の模様を呈するが、暗いグレーか黒い色をしている。これらセラミックのすべては、他の複合材料に比べてはるかに硬く、強化繊維による表面の模様を有している。これ

ら材料は1mmから50cmまでのいかなるサイズのものもありえて、ダイアモンド工具を使って所用の形状に切ったり削ったりされる。

外観（梱包状態）：高コストで脆い材料のため、これら複合材はショックを吸収する材料で梱包される。シリカ・シリカ材料は吸湿性があるので、（すなわち水を吸うので、）マイラーかその他のプラスチックの袋に封入され、しばしば大きな梱包容器に乾燥剤と一緒に入れられる。荷主によっては、吸水から材料を保護するために、乾燥した窒素ガスを充たした袋に密封する。

(e) タングステン、モリブデン、及びこれら金属の合金であって、均一の球形、又は霧化して作られた、直径が500μ以下で、純度97%以上の、ロケットモータの部品を作るためのもの；すなわち、熱遮蔽材、ノズルの基質、ノズルスロート、及び推力ベクトル制御部品の表面に用いる。

製造可能国
ドイツ
日本
ロシア
米国

特性と目的：これら材料は粉体で取り扱われ、型の中に流し込み高熱と高圧でミサイル部品を成型（すなわち焼結）する。これら材料で作られた部品は非常に硬く高密度で高強度である。これらはまた融点が非常に高く、タングステンは3,410℃で溶け、モリブデンは2,610℃で解ける。これら完成部品は、例えば大気圏再突入又はミサイルの排気のような、高熱でマスフローの大きな環境で、アブレーション耐性に優れている。

ミサイル関連の用途：これら材料は密度が高く重いので、極限状態の部分に小さな部品として使う傾向が強い。大気圏再突入機のノーズチップ、（ノズル全体ではなく）ノズルスロートインサート、エンジン排気の向きを操るのに使うジェットベーンなどである。

他の用途：タングステン粉末は金属のエバポレーションの仕事、ガラスと金属のシール、電気接点、及び鋼の合金成分として使われる。タングステン・カーバイドの切削工具は、金属加工、鉱石の採掘、及び石油産業にとって重要なものである。モリブデンは粉末冶金に使う要素材料である。

外観（生産状態）：タングステン、モリブデン、及びその合金の球形粒子又は霧化粒子は、

他の多くの冶金用の粉体製品と同じ外見をしている。粒子は金属光沢をしており、球形であるために流動性が良い。タングステンもモリブデンも高密度材料であるため、これら材料は非常に重い。タングステンの密度は19.3 g/ccで、モリブデンの密度は10.2 g/ccである。比較のために、鉄の密度は7.87 g/ccで、アルミニウムの密度は2.7 g/ccである。

外観（梱包状態）：これら材料は、空気との接触を最小限にし、粒子表面の酸化を最小限にするため、コンテナかドラム缶に密封される。コンテナは大きさの割合に重く感じ、動き出さないようにパレットかコンテナに固定される。

(f) 20℃で計測した引っ張り強度1.5×10^9 Pa以上のマレージング鋼。（ニッケル含有量が多く炭素量が少ない、その他の添加物を使うか、エージングによる凝結を使った鋼）

アイテム8に対する注記：

(1) このアネックスでは、マレージング鋼は上記8の（f）だけに規定され、壁厚又は板厚5.0mm以下のシート、板、又は管の形状のものを対象とする。

特性と目的：マレージング鋼は特別な鉄鋼合金で、高い降伏強度で注目される。マレージング鋼の典型的な調合は、多くの構造用鋼と比べ、比較的低い炭素含有率（0.03%未満）と比較的高いニッケル含有率（18～25%）である。

製造可能国
フランス
日本
ロシア
スウェーデン
英国
米国

ミサイル関連の用途：MTCRによって管理する品目（シート、板、及び管）は、一般的に、固体ロケットのモータケース、燃料タンク、及び段間部を作るのに使われる。

他の用途：これら鉄鋼は、特別な航空機部品、潜水艦の外殻、フェンシングのブレード、パイプ、及び化学・核工業の反応容器に使われる。

外観（生産状態）：マレージング鋼は、新鮮で汚れのない状態では、光沢のある灰色をしている。強度を増すためにエージングを施すと、金属の表面に暗い灰色の酸化物の層ができる。この暗い色の層は、使用中の耐食性を改善するための、酸化速度をある程度抑えるための処置を施されたことを示すものである。熱処理を施されたマレージング鋼、ステンレス鋼、及びジルコニウムの試験片を図8-9に示す。

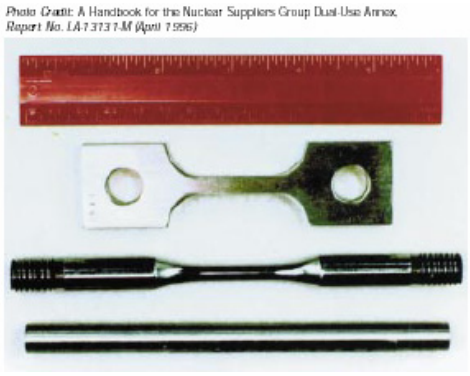


図 8-9： 上：ステンレス鋼；
中央：熱処理をしたマレージング鋼；
下：ジルコニウムの管。

外観（梱包状態）：マレージング鋼はしばしば熱処理前の低強度の状態で出荷されるので、エンドユーザが所望の形状に成型することができる。これは、非常によく似た材料であるステンレス鋼と同様、バンドで束ねて出荷される。シート及び板材は積み重ね、パレットに固定される。管材はバンドで束ね、同じくパレットに固定される。双方ともビニールシートで覆い、汚れから保護されるであろう。

(g) チタンを添加した二相ステンレス鋼（Ti-DSS）であって、以下に示すもの：

(1) 下記の特性を有するものすべて：

(a) 重量比で17.0～23.0%のクロム、及び4.5～7.0%のニッケルを含むもの、および

(b) フェライト - オーステナイトの微細結晶構造（二相の微細結晶構造を含む）であって、容積比で10%以上のオーステナイト（ASME-1181-87又は同等の国家規格による）を含むもの、および

(2) 下記のいずれかの形態のもの：

(a) 各辺が100 mm以上のインゴット又は棒材、

(b) 幅が600 mm以上で厚さが3 mm以下の板材、または

(c) 外径が600 mm以上で厚さが3 mm以下の管材。

特性と目的：チタン添加二相ステンレス鋼（Ti-DSS）は特別なステンレス合金で、溶接の容易さと、腐食性の液体推進剤の酸化剤への耐性で注目されるものである。Ti-DSSの調合の典型例は、重量比で17～23%のクロムと、4.5～7.0%のニッケルと、微量のチタンを含むもので、これを他のステンレス鋼と比べると、耐腐食性赤煙硝酸（IRFNA）のような酸化

剤に特に耐性に優れている。その上、Ti-DSSは一般的な溶接技術で容易に溶接でき、他のステンレス鋼とは異なり溶接後の熱処理を必要としないので、液体推進剤のミサイル用の材料に好んで適用されるものである。

ミサイル関連の用途：MTCRによって管理する品目（インゴット又は棒材、シート、及び管）は、一般的に、液体推進剤のタンクやロケットエンジンの配管を作るために使うのに十分な大きさをしている。

他の用途：Ti-DSSの商業的な用途は殆ど知られていない。ステンレス鋼が採用されている多くの用途で使用できるが、Ti-DSSは非常に硬く、シートや管に成型するのが難しい。このため、一般的な商業用途に対しては高価に過ぎるものになる。その上、IRFNAに対して特に耐性が高いものの、同様な他の腐食性物質、例えば化学肥料に対しては良く機能しない。

外観（生産状態）：Ti-DSSは外見上他のステンレス鋼と同じである。これは結晶粒が大変小さく、これを見るのに通常、拡大鏡又は顕微鏡が必要である。

外観（梱包状態）：Ti-DSSは、他のステンレス鋼と殆ど同じように、バンドで束ねて出荷される。シート及びインゴット又は棒材は、しばしば積み重ねてパレットに固定される。管は通常バンドで束ね、同じようにパレットに固定する。双方ともビニールシートで覆い、汚れから保護されるであろう。

カテゴリⅡ～アイテム9

航法装置

計器類、航法及び方位検出装置、及びソフトウェア、及び関連する製造装置、試験装置、及びそれら専用に設計された部品とソフトウェア；以下

(a) アイテム１のシステム用に設計、又は改良された統合飛行計測システム、これは次のようなものを含んでいる、ジャイロ安定化装置即ちオートパイロット及びそれらの統合化のためのソフトウェア；

アイテム９の注意

(1) （a）から（f）に示されるアイテムは、有人機、人工衛星、陸上車輌、船舶用、或いはそれらのための、適当量の交換用部品などとしても輸出される事がある。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェー
ロシア
南アフリカ
スペイン
スウェーデン
スイス
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：統合飛行計測システムは、ミサイルの飛行経路を追尾するために慣性装置（加速度計とジャイロスコープ）と共に種々のセンサーを使用する。このシステムは、慣性誘導装置のみの場合より多くのデータを取得し、その情報を用いるので、より正確である場合が多い。各種のセンサー・データが付加される事により、より安価な慣性装置を使用しても、航法精度を減少させずに済むことが多い。これらのシステムは、航法精度の向上のために、利用可能な全ての情報を、いろいろな、ときには革新的な形で利用している。メーカーが、ここで言う「統合飛行計測システム」に様々な名前（例えばナビゲーション・システム）を使用しているので、違う名前で呼ばれているアイテムが実は、MTCR で規制するこの「統合飛行計測システム」と内容的に同じものであると言う可能性もある。

操作方法：統合飛行計測システムはミサイルの飛行経路を追尾するために、アクティブ、またはパッシブセンサー、受信装置、慣性装置などから飛行中のデータを取得、処理を行う。システムは幾つかの階層的、選択的な方法から位置と方向の最適推定値を導き、予めプログラムされた飛行経路と比較する。得られた結果は、意図した飛行経路に沿った飛行を行わせる為の操縦信号の発生に使われ、また他の予めプログラムされた機能を、適切な時間に作動させる為の信号を生成するのに用いられる。

ミサイル関連の用途：統合飛行計測システムは巡航ミサイルを含む無人飛行機（UAV）に必要とされる装置であり、誤差がレンジの3.33パーセント以下の精度を達成することのできるシステムは、アイテム2（d）によりカテゴリⅠとして規制されよう。

他の用途：統合飛行計測システムは、民間機および軍用機の両方に使用される。

外観（生産状態）：統合飛行計測システムの大きさは、それを用いる飛行体のタイプおよび設計の年代によって、まちまちである。最近の設計は、大きさでは一辺が約0.5 m、重量では数キログラム以下にまで小型化している。統合飛行計測システムは、飛行体の機種毎に内部構造に合わせ設計され、異なるサブシステムの組合せを用いているので、外観はそれぞれ

Figure 9-1: The main body of a cruise missile integrated flight instrumentation system.

図 9-1：巡航ミサイルの統合飛行計測システム

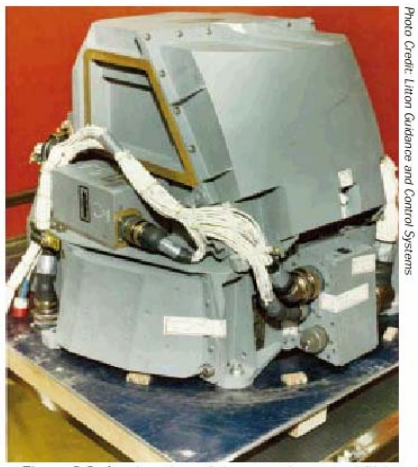


Figure 9-2: Another view of the same integrated flight instrument system shown in Figure 9-1.

図 9-2：別の角度から見た統合飛行計測システム

非常に異なる。カテゴリⅠアイテム2（d）の下で規制されるミサイル誘導装置のように、多くの統合飛行計測システムは、取外し可能な取付けパネルを持つ金属筐体に納められている。しかしながら、統合飛行計測システムは、航法情報の取得に慣性装置（IMU）だけでなく、その他、より多くの装置を用いるので、IMUのみに頼る弾道ミサイル誘導装置よりも、よりモジュール化されているように見える。このモジュール外観の例を図9-1及び9-2に示す。システムの各構成部は、コンピュータやIMUからは十分離れた位置に取り付けられているセンサやアンテナと共に、ミサイルのいろいろの場所に分散されている。

外観（梱包状態）：統合飛行計測システムは、ある種の、より高価な弾道ミサイル誘導装置ほど精密でもなく高価でもないが、それ等の包装は、湿気から保護するために乾燥剤および気密性の包み紙を用いて確りと行われる。これらのシステムは通常、取扱注意を示す

ラベルを付けたクッション付きコンテナで出荷される。

(b) ジャイロアストロコンパス及びその他の装置；これらは、人工衛星、又は天体を自動的に追尾して、位置や方向を導き出すものである。

アイテム９の注意

(1)（a）から（f）までに述べたアイテムは、有人機、人工衛星、陸上車輌、船舶用及びこれらのための適当量の交換部品として輸出される事がある。

特性と目的：ジャイロアストロコンパスは航法のために使用されるもので、高感度光・電子機器の精密組立品である。これは飛行中の方位更新情報を提供し、それによって航法精度を向上させる。

製造可能国
フランス
ドイツ
ロシア
英国
米国

操作方法：これらの装置は、既知の方角にある遠距離の点光源を検知する光学センサーを使用している。一般的にはこれらのセンサは星を利用するが、既知の軌道を移動している人工衛星を使用することもできる。誘導用コンピュータは、軌道上で予測されていたあるべき星の方向と、現在実際に測定された方向とを比較し、要すれば、何らかのコース修正に必要な信号を飛行制御系に送出する。

ミサイル関連の用途：ジャイロアストロコンパスは、大気圏外の軌道を飛ぶようなミサイルで使用される。

他の用途：ジャイロアストロコンパスは航法援助装置として、船舶、宇宙探査機、航空機などにも使用される。

外観（生産状態）：光学センサ技術の進歩は、このようなセンサの小型軽量化を達成してきたが、この傾向は今後も続くであろう。ジャイロアストロコンパスは、設計や光学センサ、あるいは望遠鏡等、みなそれぞれ相当に異なるが、すべては自動シャッタやトラップドアで保護された可視用の光学レンズをもっている。多くの望遠鏡はジンバルに支持されていて（即ち、一個或いはそれ以上の回転枠の内側に取付けられている）光学的規準目標を自動的に特定、指し示すことができる。一般的に、ユニットは大きさ0.5 m未満、重さ10 kg未満程度である。ジャイロアストロコンパスの写真を図9-3 に示す。ジンバルを除いたコンパスは、精密な取付け面のある光学センサ、シャッタおよび付属電子回路等から構成され、これらの金属ケースは、通常一辺わずか5～7 cm、重さは0.5 kg程度である。

Figure 9-3: A high resolution gyro-astro compass.

図 9-3：高分解能のジャイロアストロコンパス

外観（梱包状態）：ジャイロアストロコンパスは精巧なメカニズムで構成されているので、湿気と、僅かな衝撃からも保護するよう、堅固な出荷用コンテナに梱包される。これらの出荷用コンテナには、通常、高価で精密な光学的、電気的、機械的製品が収められている事を示す警告ラベルが貼付されている。

(c) 加速度計であって閾値が 0.05 g 以下のもの、又は線形誤差が最大出力の 0.25%以下のもの、或いは両方を満たすもので、慣性航法システム用、或いは誘導システム用に設計されたもの。全ての型式のものを含む。

アイテム 9 の注意：

(1) アイテム（a）から（f）は、有人機、人工衛星、陸上車輌、船舶用、或いはこれらの為の適当量の交換部品として輸出される事がある。

(3) ボーリングを円滑に行う為のMWD（measurement while drilling）センサ専用に設計、開発された加速度計は、アイテム 9（c）の規制には入らない。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
北朝鮮
ノルウェイ
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
英国
米国

特性と目的：加速度計は、ある方向の速度の変化率である加速度の測定に用いられる感度の高い電気機械式計測器である。加速度は、速度を得るために一回積分され、起点や発射位置からの距離を得るために、もう一回積分される。加速度計の最も重要な二つの性能パラメータは閾値、即ち最小検出測定可能値と、線形誤差、即ち実際の測定値がもつ最大誤差である。

ミサイルの精度は、ミサイルの加速度計とジャイロの性能に直接依存している；外部からの更新情報無しで長時間飛行するミサイルは、高精度加速度計を必要とする。中間飛行経路修正のために、GPS、天体測位、あるいは地形照合センサのようなセンサシステムを用いるミサイルは、精度の低い加速度計で済ますことができる。慣性航法グレード加速度計のコストの大部分は、各ユニット毎に実施されなければならない、厳密かつ広範囲の較正試験に起因する。

操作方法：加速度計は、加速度によって電気力を発生し、それによって加速度を検知し、また重力を検知し、電気信号としてその測定値を出力する。加速度計からの情報は、それが得られた時刻、その場の重力、方位、又その他の計測値などから、誘導装置或いは統合飛行計測システムが飛行体の速度、方向、位置などを決めるのに役立つ。加速度計には作動原理によって、幾つかの異なった形式のものがある。

多くの懸垂式加速度計（force balance, force to balance, or force rebalance accelerometers）は、重力と磁界による力に抗して支持されているフレキシブルヒンジ上の小さな重りを用いている。これには多種多様の設計があるが、原理的には、殆ど同じである。小さな重りは、電磁石によってゼロの位置に保持されている。加速度に変化があると重りが動き、重りを平衡位置に戻すように制御回路では電磁石の電流を変化させる。この位置を戻すために、あるいは平衡を保とうとするために必要とした電流は加速度に比例する。

回転軸に沿って不均衡な質量が与えられた回転コマ式ジャイロは加速度計として使用することができる。ジャイロは、重力を含む加速度に比例する角速度で、スピン軸と直交する回転軸の周りを回転する。これらの回転の和は加速度の機械的積分の機能を持ち、加速度ではなく速度に比例する出力を与える。この型の加速度計は振り子式積分ジャイロ型加速度計（PIGA）として知られている。PIGAは非常に高価なものであるが、幾つかの極めて精度の高い長距離弾道ミサイルシステムに使用されてきた。

他の形式の加速度計では、振動素子の張力や、周波数が変化する振動素子加速度計のようなものもある。チップ加速度計は、電気抵抗を変えて電気的出力を出すような、半導体集積回路の可撓性をもつ部分を利用している。これらの加速度計は現在のところ性能は良くないが、かなりのコスト低減の可能性が見込まれ、設計改善努力が続けられよう。これら新しい加速度計は、無人機（巡航ミサイルも含む）のように、あまり精度が求められない場合のIMUに、既に使われている。

ミサイル関連の用途：加速度計は、ミサイル誘導装置あるいは統合飛行計測システムで使用される。通常、慣性航法に必要な全ての加速度情報を得るため3 個の加速度計が直交するように取付けられる。加速度計は、ジンバル構造（アイテム2（d）を参照）で取付けるか、フロートボール式に取付けるか、あるいはストラップダウン式にミサイルの機体に直接取付けられる。これらはジャイロスコープと共にIMUや慣性センサ装置（ISA）を構成する。任務要求によって、巡航ミサイルを含めある種の UAV では1 個ないし2 個の加速度計だけで任務遂行ができる。

他の用途：加速度計は民間航空機・軍用航空機の両方と、宇宙システム、油井での掘削応力試験などに用いられ、また慣性航法装置として自動車その他の地上車、電子機器、製造業、重力計、ロボット技術、遊園地の乗り物（ジェットコースター）などに使用される。しかしながら、これらのほとんどの用途では、慣性グレード加速度計がもつような高い安定性と、高い較正精度は必要としない。

外観（生産状態）：いろいろな設計があるので、加速度計の外観はそれぞれ非常に異なっている。これらは通常、精密機械加工で作られた円筒形の金属で、光沢がある。弾道ミサイルで使用されるかなり大きな加速度計でも長さは数センチメートル、数キログラムの重さである。UAV（巡航ミサイルを含む）で使用されるものはより小さく、より軽い。これらは、一辺数センチメートル、重さ 1 キログラム未満の物もある。MTCR 関連の多くの加速度計は、正確なアライメントを行うために必要とされる、高品質の電気接続部と精密な取付け面をもっている。加速度計の殆どは工場で密封された機器であり、通常は、どんな顧客によっても、サービスのために分解されることは勿論、開けられたりすることもない。最新の集積回路加速度計を図 9-4 に示す。加速度計の外部に書かれたモデル番号と製造番号は、精度に関しての記述を含む関係書類の中にも明記されている筈である。

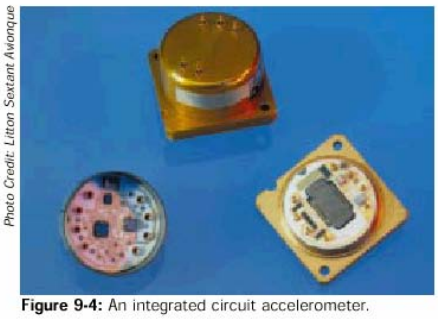


Figure 9-4: An integrated circuit accelerometer.

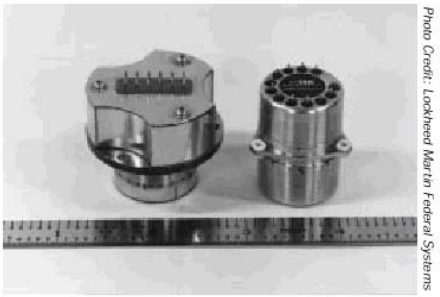


Figure 9-5: Two force rebalance accelerometers that can be built with any of a wide range of performance capabilities.

図 9-4：集積回路加速度計

図 9-5：広い範囲の性能をカバーする2種類のサーボ方加速度計。

加速度計の異なるモデルは、それぞれ異なる性能を持つが、それらの外観は、同じように見える場合があるので、目視検査のみではMTCRで規制されたものと、他の加速度計とを区別するのは難しいことがある。広い範囲の性能をカバーする2 種類のサーボ型加速度計を図 9-5 に示す。変り種の一つである、精巧なジャイロ型加速度計PIGAを図 9-6 に示す。インチスケールも隣に示す。モデル番号と製造番号を付けられた、個々の加速度計固有の情報は、g-しきい値や線形誤差を含めて、関連書類（しばしば較正シートあるいは cal - データと呼ばれる）から得られる。高性能ミサイル誘導装置において、加速度計が十分正確にはたらくようにする為の重要な点は、較正データを収集するに必要な試験を徹底して行う事である。かくして、較正と誤差モデルデータの細かさと量が、加速度計のミサイル関連での使用を決定するための、重要な指標となる。

Figure 9-6: A pendulous integrating gyro accelerometer (PIGA) next to an inch scale.

図 9-6：インチ定規と並べたぶら下がり型加速度計（PIGA）

外観（梱包状態）：精密加速度計は、加速度に対して敏感であるように設計されているため、比較的小さな衝撃による損傷を受けやすい。これらは通常、輪郭に合わせた厚い泡型内張りのある、小さな高品質包装により、高級な懐中時計と同じように物理的な衝撃から保護される。出荷では、これら特別の箱の複数個を、更にある種の緩衝材の付いたもう一つ別の箱、或いは別のコンテナの中に容れて梱包する。モデル番号や、製造番号の付けられた個々の加速度計の精度を記した書類は、通常これらの梱包の中に一緒に収められている。

(d) 1 g の環境下で、ドリフトレート安定性規格が 1 時間当り 0.5 度（1σ or rms）のもので、アイテム 1 のシステムに使用可能な全ての型式のジャイロ。

アイテム 9 の注意：

(1) アイテム（a）から（f）は、有人機、人工衛星、陸上車輌、或いは船舶用として、或いはそれらの適当量の交換用部品として輸出される事がある。

(2) 上記（d）に於いて：

(a) ドリフトレートとは、時間に対する出力値の正常値からのずれと定義される。これは、不規則変動と規則的変動の部分からなり単位時間当りの慣性空間に関する等価角度偏差として表される。

(b) 安定性とは一定温度環境下で測定、較正された値からのパラメータ個々の変動分の標準偏差（1σ）として定義される。

製造可能国
オーストリア
カナダ
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
リビア
北朝鮮
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
英国
米国

特性と目的：ジャイロスコープ（ジャイロ）は、一つ以上の受感軸（出力軸）周りの回転を測定する為の、敏感な電気機械的あるいは電気光学的な装置である。ジャイロは、通常、誘導装置あるいは統合飛行計測システムにおいて、加速度計と共に取付けられている。ジャイロは、加速度計の角度方向の変化を僅かでも測定するので、その結果、計測されている加速度の方向を知る事ができる。ジャイロにとって、最も重要な性能パラメータの 1 つは、ドリフトレートの安定性で、通常は 時間毎の度数の変動で測られる。これは、ジャイロがどれくらい速く、その方位情報を失うかを決定するものである。ストラップダウン方式の誘導システムに用いられるジャイロにとっては､感知した角速度あるいは角度と、ジャイロ出力信号を関係付ける、スケールファクタの安定性も又、重要である。

ミサイルの精度は､そこに使われている加速度計およびジャイロの性能に直接的に依存している。外部からの更新情報なしに、長時間飛ぶミサイルにとっては、高精度のジャイロが必要となる。飛行中の経路修正をするため、GPS受信装置、天体測位装置、あるいは地形照合装置などを使うミサイルシステムでは､より低い精度のジャイロを使用することが可能である。慣性グレードジャイロのコストの大部分は、ユニット毎に実施しなければならない、厳密で多様な試験に起因している。

操作方法：ジャイロは角度の変化（方位の変化）を検出、電気信号の形で測定値を出力する。時間情報、局地重力、加速度、その他の測定値などを伴うジャイロからの方位情報は、飛行体の速度、ヘディング、位置情報などが、誘導装置あるいは統合飛行計測システムによって予測されることを可能にする。それぞれの作動原理による異なるタイプのジャイロがいくつか存在する。慣性誘導ミサイルの殆どは、回転質量式（コマ式）ジャイロ、あるいは電気光学式（レーザ）ジャイロのどちらかを使用している。

回転質量式ジャイロ（コマ式ジャイロ）には回転円盤があり、ジャイロスコープの原理により作動する。ジャイロスコープの原理とは、回転円盤に対する外部からの入力トルクに直交する軸上に、測定可能な比例トルクを生成するというものである。回転質量式ジャイロには一般的な2つの形式のものがある。一自由度（Single degree-of-freedom（SDF））ジャイロは、１つの軸回転のみを検知するが、二自由度（two degree-of-freedom（TDF））ジャイロは、2つの軸に関する回転を検知する。ミサイル誘導装置では、通常3軸方向全ての情報が必要なので、SDFジャイロが3個必要である。TDFジャイロ2個でも良いが、1つの軸は余ることになる。

SDFジャイロは、円筒内部の直交軸で支持された回転質量を持っており、この円筒はまた、誘導装置の基盤上に固定された別のわずかに大きな円筒の中で浮いている。多くの設計では液体で内部円筒を浮かしているが、気体流で支持しているものもある。入力としての角度変化に伴い、回転質量のジャイロスコープ効果によって、浮いている内部円筒に回転が発生する。これらの回転の測定値、またはこれらの回転を止めるに必要なバランス力の測定値がSDFジャイロの出力である。

最も一般に用いられるTDFジャイロはダイナミカルチューンドジャイロ（DTG）である。これは浮揚の為の液体を使用しないので、「ドライ」チューンドジャイロとも呼ばれる。DTGは複雑なジンバル機構を持ったフレックスヒンジ組立品、本来的に超精密自在継手ーで支持された回転質量を持っている。複雑なヒンジ組立品は、入力としての誤差トルクを、殆どの場合10,000 rpmを超えるような特定の速度で打ち消すように調整されている。当然、DTGはチューニングされた回転数で確実に動作するように、極めて精度の良い速度調節が必要である。TDFジャイロの古いタイプは、回転しているロータをケースから分離独立させるための、機械式ジンバルの組み合わせから出来ている。ケースに対する回転質量の角度位

置が、取付け基盤の方位変化を測定するために用いられる。

光ジャイロは、閉じた経路に沿って、互いに反対方向に周回するレーザ光を発生し、検出器によって検知される干渉パターンを作り出す。ループ面に直交する軸の周りの回転(入力回転)が起きると、夫々の経路の実効長の差によって干渉パターンに相対変化が生じる。この変化（サグナック効果として知られている）は、検出器により観測され、ジャイロの回転（入力回転）に比例する出力を与える。

光ジャイロには、一般的に二種類のリングレーザジャイロ（RLG）と、光ファイバジャイロ（FOG）と呼ばれるものがあり、さらにその各々に何種類かがある。RLG は、閉じた多角形、通常は 3 角形で時に 4 角形や 5 角形、で出来た空洞のガス管の内部で互いに反対方向に走るレーザ光のビームを発生する。これらの空洞は高精度用に、熱膨張係数がほぼゼロのガラスで作られている。FOG は互いに反対方向に回転するビームを伝えるために、光ファイバケーブルの長いリールを用いている。RLG と FOG の間の重要な違いは、光ファイバケーブルのリールによって FOG は非常に長い経路が得られ、少なくとも理論的にはより高精度が得られるという点である。しかし実際には、この改善は光ファイバケーブルと接合面での不完全さによって相殺されてしまっている。FOG はいくつかの国で開発中であり、その性能には改良が続けられている。これらには、未だ考案されていない、低コストジャイロをもたらすかも知れないという大きな期待が持たれている。

FOGは一軸のジャイロとして設計されており、これを使用する場合、ミサイルの多くは機体3軸周りの回転を測る必要があるため、三個のFOGを必要とする。一軸のリングレーザジャイロ RLGにも同じことが当てはまる。時には、ガラスの単一ブロック内に、3つ以上のリングを含む多軸RLGが使用されることがあるが、このようなユニットは、誘導装置でのみ必要とされよう。

他のタイプのジャイロに半球共鳴ジャイロがある。半球のカップ（少し小さなワイングラスのような）の中で定在波振動を起し、これを観測する。コリオリの力を含む方法によって作動する小さな音叉のような設計もある。しかしながら、動作原理の如何を問わず、MTCR性能仕様に合うことが可能なジャイロは全て規制される。

ミサイル関連の用途：ジャイロは、加速度計の向いている方向の変化を検知するため、ミサイル誘導装置や統合飛行計測システムで使用される。設計によってはジャイロを 2 個、

3 個あるいは 4 個使用する場合がある。それらは、機体 3 軸周りの角度情報を全て取得するために、通常はお互いが直交するように取付けられる。それらは、ジンバル構造（アイテム 2（d）を参照）の中で使用されるか、また浮遊球内に取付けられるか、或いは、ストラップダウン式で、ミサイル機体に順番に取付けられるブロックに装着することができる。加速度計と組み合わせて、これらは IMU か ISA を構成する。

他の用途：ジャイロスコープは非ミサイル用誘導装置、統合飛行計測システム、ジャイロスタビライザー、自動操縦装置、そして航法装置などで使用される。軍用では大砲、戦車、船舶および航空機用がある。民生用では船、航空機および石油掘削がある。ほとんどの非ミサイル用途では、作動環境および精度の条件があまり厳しくないので、ジャイロはより小さく、より安価にすることができ、それほど複雑にはならない。

外観（生産状態）：最近の SDF ジャイロは、直径 5～8 cm 、長さ 8～12 cm、重さ 1 kg 以内にすることができる。DTG は通常円筒状で、直径 4～6 cm、長さ 4～8 cm、重さは一般には 1 kg 未満である。より古いジャイロは幾分大きく、サイズはおよそ 2 倍で重さは数キログラムである。巡航ミサイルを含む UAV で使用されるジャイロは、はるかに小さく、より軽く、恐らく数 10 グラムとなる。

Figure 9-7: A DTG dynamically tuned spinning mass gyro.

図 9-7：動的に調整された回転質量式ジャイロ

MTCR 関連の多くのジャイロは、高精度の取付けと高品質の電気接続のため、精密な取付け面を持っている。多くの方式が存在するので、ジャイロの外観は非常に多様である。回転質量式ジャイロは精密機械加工で製造し、通常は円筒状の金属で、大きさのわりに重く、光沢がある。動的に調整された回転質量式ジャイロ（dynamically tuned spinning mass gyro）を図 9-7 に示す。振動構造式ジャイロ（vibrating structure gyro）を図 9-8 に示す。個々の光学ジャイロは通常詰め物のように、割と目立たない密封された箱に組み込まれている。

Figure 9-8: A vibrating structure gyro.

図 9-8：振動構造式ジャイロ

3 リング RLG ユニットは立方体になる傾向があり、一辺が 4～10 cm 位で、重さは 1 キログラム前後であろう。ある種の一軸方式のものは、直径 20 cm を超える円筒に似ている。3 リングジャイロ RLG 本体の内部を図 9-9 に示す。各リングの底に、ガスレーザ用の電極が見える。レーザ光は、ガラスに機械加工された三角形の路を進む。いくつかの FOG デザインは直径わずか 2～4 cm で、ファイバーの長さ数百メートル、重さ 1 キログラム前後である。カバーをはずした FOG を図 9-10 に示す。より一般的と思われる FOG と RLG の外観を、図 9-11 に示す。

Figure 9-9: Three exposed ring laser gyros without their associated electronics.

図 9-9：関連電子機器と蓋を外したリングレーザジャイロ三種。

MTCR で規制されるジャイロと、規制対象外のものとが同じに見える可能性がある。それぞれのモデル番号と製造番号をもつ各ジャイロに固有の情報は、ドリフトレート安定度を含む関連書類（較正シートあるいは較正データ）にて参照できる。加速度計と同様に、この較正データを収集するための徹底的なテストが、ジャイロをミサイル誘導装置に使用する際に、十分な精度を生み出す本質的な部分になる。このように、各ジャイロに伴う較正データや誤差モデルデータの詳細とその量はジャイロのミサイル関連使用を決める重要な要素である。較正データは通常、製造番号を引用するが、これはジャイロ上に目に見える形で参照できる。

Figure 9-10: A fiber optic gyro with its top removed.

図 9-10：カバーを外したファイバー光ジャイロ

Figure 9-11: A fiber optic, rate sensing gyro. It is 2 × 6.5 × 8 cm.

図 9-11：速度感知形のファイバー光ジャイロ。サイズは 2×6.5×8 cm。

外観（梱包状態）：回転質量式ジャイロ（コマ式ジャイロ）は衝撃に強くない。しかし、光ジャイロはかなり丈夫である。回転質量式ジャイロは高品質の緩衝材入りコンテナに梱包される。光ジャイロは梱包では余り緩衝材を使わなくて良いが、これらは高価な電子機器やセンサと同様、高品質の包装で出荷される。

(e) 100 g 以上の加速度のもとで機能する性能をもつ連続出力式の加速度計とジャイロの全て；

アイテム 9 の注意

(1) (a) から (f) までのアイテムは有人機、人工衛星、陸上車輌、船舶用、或いはそれらの適当量の交換用部品として輸出される事がある。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
北朝鮮
ロシア
英国
米国

特性と目的：加速度 100 g 以上に於いて機能するような、連続出力式加速度計及びジャイロは特別の範疇に属する加速度計とジャイロであり、これらはそれぞれアイテム 9 (c) 及び (d) のものも含んでいる可能性がある。これらの機器は全指定範囲に亘り連続的に信号を発生し、100 g を超える極端な加速度の下でも作動するように設計されている。このような機器の全てが性能仕様に関係なくこの項の下で規制される。これらの目的は防禦を回避したり、大気圏再突入時の減速の際、飛行体（RVs）が経験するのと同じような激しい加速度の下で、慣性機器データを提供することにある。これらの機器は又、信管システムの一部として使用される可能性がある。この場合は比較的短時間の作動のために、かなり低精度の機器を使用できることから、精度仕様の記載は無い。

操作方法：これらの慣性機器はアイテム9（c)、(d）で述べたものとほとんど同じ方法で作動するが、堅牢化されており更に広い作動範囲（100 g を超える状況）を有している。

ミサイル関連の用途:これらの加速度計は RV 用信管として使用することができる。また、連続出力式加速度計およびジャイロは、相手側の防禦を回避するとか、終末に自らを攻撃目標に誘導する際に、旋回飛行中の RV を操縦する誘導装置で使用される。このような加速度計およびジャイロはかなり精度がよく、恐らく核に対しての耐性を持っている。100 g のもとで機能する連続出力式加速度計は、貫通型弾頭を持つ巡航ミサイル用の信管と点火装置にも使用される。

他の用途：100 g の環境においても作動可能な、連続出力式加速度計とジャイロは、誘導砲弾のような誘導武器にも使用可能である。これらの加速度計は、研究室に於いて、連続出力

を必要とするような高加速度試験にも使用される。

外観（生産状態）：連続出力式加速度計は図 9-12 に示す如く、アイテム 9（c）で述べたものと同じであるように見えるかもしれない。同様に 100 g 以上で機能すると明示されたジャイロは、アイテム 9（d）で述べているものと、見たところでは同じようであるかもしれない。これらはすべて、通常、円筒状かあるいはパッド状をしており、精密な取付けマウント用のフランジや高品質の電気コネクタが付いている。本質的に機器が小さければ小さいほど加速度に対して、より耐性があるので、これらは殆どの他の加速度計およびジャイロより小さい傾向がある。図 9-13 に示すように、回路素子に組みこまれた高加速度用の小型加速度計さえ存在する。

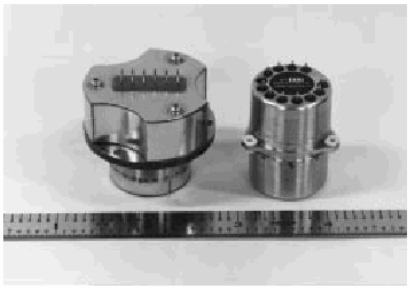


Figure 9-12: Two continuous output accelerometers, visually identical to those of Figure 9-5, rated at 100 g.

図 9-12：100 g 級であるが、外見的に図 9-5 と同じ、二種の連続出力式加速度計。

Figure 9-13:
An integrated circuit accelerometer rated at over 100 g.

(f) Inertial or othe

図 9-13：100 g 以上級の集積回路に組み込んだ加速度計

外観（梱包状態）：これらが頑丈な性質であるので、これらの機器は特別な取り扱いを必要としない。これらは小さなハードウェア･アイテムとして出荷される。通常、各々のモデル番号と製造番号が付けられたユニットの作動可能な加速度範囲に関する書類が、同じ梱包に収められている。

(f) 9（c）或いは 9（e）で述べた加速度計、又は 9（d）或いは 9（e）で述べたジャイロを用いた慣性機器や、その他の装置。及びそれらの機器を統合したシステムと、そのソフトウェア。

<u>アイテム 9 の注意</u>

(1) （a）から（f）までに述べたアイテムは、有人機、人工衛星、陸上車輌、船舶用、或いはそれらの為の適当量の交換部品として、輸出される事がある。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ロシア
南アフリカ
スペイン
スウェーデン
スイス
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：この MTCR Annex の条項は、それらがアイテム 9 で規制される加速度計やジャイロのうちのどれかであれば、それがより大きな組立品の部分品とか、誘導に無関係な組立品の部分品であっても、依然として、規制対象であることを明確にするものである。そのような組立品の例には、機器を組み込んだジンバルアセンブリ、IMU、カテゴリ I アイテム 2（d）で規制されない誘導装置、重力計等を含み、またカメラやアンテナ、あるいは他の装置用の安定化台座を含む。アイテム 9（c）、9（d）あるいは 9（e）の一つ以上が含まれるものは、いかなる慣性システム、サブシステムあるいは他の装置であっても、その意図した用途の如何にかかわらず、この条項の下でカテゴリ II として規制される。

ミサイル関連の用途：アイテム2（d）およびアイテム9（a）に記載したように、この装置は弾道ミサイルと巡航ミサイルのための誘導装置および統合飛行計測システムで使用される。

他の用途：この装置は、宇宙飛行、航空、重力マッピング、遠洋航海、地上航法、油井掘削等のすべての領域での誘導装置および航法システムに使用することができる。

図 9-14：三つの加速度計と三つのジャイロを有するジンバルで支えられた IMU（ジンバルは内部に配置）

外観（生産状態）：加速度計、あるいはジャイロを使っている慣性装置、もしくは他の装置の外観は様々である。IMU はジンバルで支えることができる。ジンバルで支えられた IMU を図 9-14 に示す。これらは図 9-15 で示すように液体を満たした容器の内部に浮かぶように球形の形に設計することがある。IMU はさらに、図 9-16 および

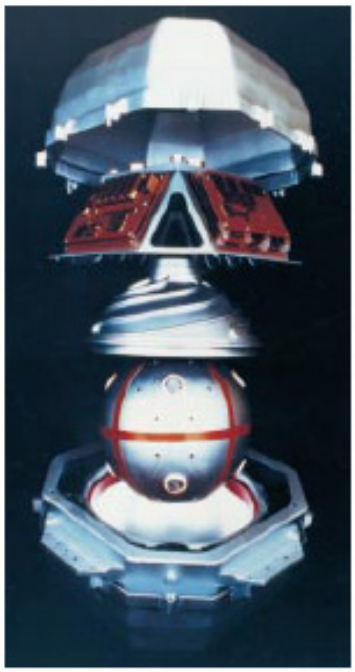


図 9-15：三つの加速度計と三つのジャイロを持つ球形の IMU のモデル、液体を詰めたチャンバに浮かせるように設計（チャンバをあけたところ）

図 9-16：三つの加速度計と三つのジャイロ（ケーブルの反対の端）を有するストラップダウン IMU

Figure 9-17: A strapdown IMU containing three accelerometers and three ring laser gyros.

図 9-17：三つの加速度計と三つのジャイロを有するストラップダウン IMU

図 9-17 に示されるように、ストラップダウン形態で、固定して取り付けるように設計することができる。加速度計とジャイロを使用する装置には、さらに特定の用途に応じて、光学センサ、GPS 受信機、レーダ装置、地平線センサ、コンピュータおよびソフトウェア、その他の付加的装置を、あわせ使用することがある。この装置は電気接続端子と取付け面を持っている。そして、加速度計やジャイロあるいは他の付加装置を交換のとき取外し可能なように、可動取付けパネルを持っていることもある。それらのサイズは一辺数センチから 1 メートルまでと様々である。

外観（梱包状態）：殆どの加速度計とジャイロスコープは本質的に敏感なので、衝撃と湿気の害を防ぐため、緩衝材および絶縁材を用い、堅固な出荷用コンテナに梱包される。コンテナは泡緩衝材を用いた、木製、金属製あるいはプラスチック製のものなどである。出荷用のコンテナには、電気的あるいは機械的装置で、損傷を受け易い高価な組立品の場合によく使われる警告ラベルが使用されよう。

(g) （a）から（f）までに述べられてきた装置の為に、設計、又は改良された製造装置、試験装置、アライメント装置などで以下に示すもの。（これら以外のものは、9（h）に挙げられる。）

(1) レーザジャイロの鏡で、カッコ内に示された精度、或いはそれ以上の性能を出す為使われる装置：

（ｉ）散乱計（10ppm scatterometer）；

（ii）反射計（50ppm reflectometer）；

（iii）表面粗さ計（5Å profilometer）.

(2) その他の慣性機器用として：

（ｉ）慣性計測ユニット（IMU モデュール）用試験機；

（ii）IMU プラットホーム試験機；

（iii）IMU 安定化素子（stable element）取扱い冶具；

（iv）IMU プラットフォーム バランス冶具；

（v）ジャイロ チューニング試験台；

（vi）ジャイロ動的バランス台；

（vii）ジャイロ Run-in/モータ試験台；

（viii）ジャイロ排気・注気試験台；

（ix）ジャイロ ベアリング遠心加速試験用冶具；

（x）加速度計軸調整台；

（ｘ ｉ）加速度計試験台.

(h) 以下の装置：

(1) 次に示す全ての性能をもつバランスマシン：

（ｉ）3 kg 以上の質量をもつロータや機器のバランスをとれないもの；

（ii）速度 12500 rpm 以上で、ロータ/機器のバランスをとれるもの；

（iii）二面以上の不平衡を修正でき；そして

（iv）ロータ質量の 1 kg 当り 0.2 グラム-ｍｍの不平衡残渣規格まで平衡のとれるもの;

(2) 9(h)1 で規定されたマシンと共に使用する為に設計または改良された表示ヘッド(バランス装置ともよばれる)；

(3) 次に示す全ての性能をもつ運動シミュレータ/レートテーブル（運動模擬装置）

（ｉ）二軸以上；

（ii）電力供給及び信号の授受が行えるスリップリングを有し；そして

（iii）次のような性能をもつもの；

(a) 各軸に関して：

(1) 400°/sec 以上；且つ 30°/sec 以下；そして

(2) 角速度分解能が 6°/sec 以上、精度が 0.6°/sec 以上；

(b) 角速度安定度の下限は 10 度以上にわたり平均±0.05%以内；或いは

(c) 位置精度が 5 角度秒以上；

(4) 次の性能をもつ位置決めテーブル（各軸とも、正確な回転位置決め可能な装置）：

（ｉ）二軸以上；且つ

（ⅱ）位置決め精度が 5 角度秒以上；

(5) 遠心加速度試験装置であって 100 g 以上の加速度を与える事ができ、電力供給、信号授受用のスリップリングを有するもの。

アイテム 9 の注意：

(4) アイテム 9 で記述されたバランシングマシン、表示ヘッド、運動シミュレータ、レートテーブル、位置決めテーブル、遠心加速度試験装置のみが 9（h）で記述したものと同じものである。

(5) 9(h)(1)は歯科医用や他の医療用に設計､または改良されたバランシングマシンを規制するものではない。

(6) 9(h)(3)(4)は機械工具用或いは医療装置として設計、あるいは改良された回転テーブルを規制するものではない。

(7) レートテーブルで 9(h)(3)の規制は受けないが、位置決めテーブルの特性は有するというものは、9(h)(4)に従って評価されるべきである。

(8) 9(h)(4)に記述された特性を有し、9(h)(3)の特性も満たすような装置は 9(h)(3)で記述された装置として扱われる。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イタリア
日本
ロシア
韓国
スイス
英国
米国

特性と目的：アライメント、較正、そして試験等のための設備・装置は、慣性装置を組上げ、較正、試験を行い、これらの装置が要求性能を満たすよう性能調整をするのに用いられる。ジャイロ、加速度計、IMUなどは精密機器であり、時間に関して正確で信頼性がなければならない。特に重要なものは、この機器の時間に関する応答特性を測定するため、機器に対して加速度と方向変化を与える環境試験設備である。この設備は、高精度慣性機器の製造には、必要不可欠のものである。試験、較正、アライメント及び製造を目的に、専用に設計された装置は、たとえリストに規定されていなくとも規制の対象とされる。

ミサイル関連の用途：この設備・装置は、すべての型のミサイルに使用される慣性機器を製造し、較正するために必要である。

他の用途：慣性航法装置或いは誘導装置を用いている大部分の宇宙船、航空機、その他の移動体は、開発、製造、試験、較正のために同様の設備・装置と技術を必要とする。しかし、多くの非ミサイル応用では、高ドリフトレート、狭い振動・加速度範囲、低安定性仕様の慣性機器を使用できる。従って、非ミサイル慣性装置の試験、較正、アライメント及び製造に用いられる設備・装置は、大抵、精密なミサイルの場合に要求される設備・装置よりも複雑ではなく、精度も低くてよい。

外観（生産状態）：（a）から（f）で述べた誘導装置と航法装置のアライメント、較正、試験、及び製造の為に専用に設計された設備・装置は通常、限定的製造アイテムである。それらは機能もさることながら、大きさ、重さ、外観が様々であり、技術の変化によって特徴も変化する。完全なリストからはほど遠いが、いくつかの例を以下に示す。

リングレーザジャイロは光の短い波長の位相変化を検出するので、これらの精度は反射鏡の性能で決められる。反射鏡は精密な形状で入射する全ての光の大部分を反射することが必要で、吸収したり散乱してはならない。以下の 3 種の装置は、そのようなジャイロで用いるための反射鏡の特性を調べるために設計されている。

- 散乱計（10 ppm、10万分の１）は10 ppm（parts par million）以下の精度で、見込んだ方向から外れて光を散乱する反射鏡の特性を測定する。これは既知の強度のビームを与え、散乱光の強度を測定する。

- 反射率計（50 ppm）は、50 ppm以下の精度で光を反射する鏡の能力を測定する。これは鏡に既知の強度のビームを照射し、反射光の強度を測定する。

- 表面粗さ計（5オングストローム）は、5オングストローム（5×10^{-10} m）の精度で鏡面の凹凸を測定する。鏡面高の微小な変化をマッピングするために、様々な方法が用いられる。このマッピングによって、理論的に完璧な形状からの鏡面各点のずれ、即ち設計したとおりの平面、凸面または凹面であるかどうかを測定できる。完全な表面粗さ計のシステムは図9-18に示されている。

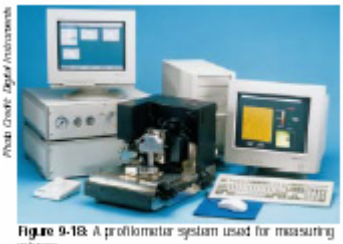


Figure 9-18: A profilometer system used for measuring mirrors.

図 9-18：鏡を計測するための表面粗さ計。

慣性誘導装置の精度は、それらの加速度計とジャイロの性能で決定される。以下の装置の大部分は、別々にアッセンブリとして、または完全な IMU として動作させ、これらの機器の特性を調べ、試験を行う。

- IMUモジュール試験器は、正常な電気的作動を確認するために、IMUモジュールを電気的に動作させ、シミュレート入力を与え、応答データを収集する。典型的なIMUモジュール試験器を図9-19と図9-20に示す。

Figure 9-19: A typical IMU module tester.

図 9-19：IMU モジュール試験機の一例。

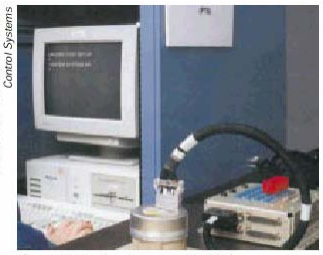


Photo Credit: Litton Guidance and Control Systems

Figure 9-20: Another portable IMU tester connected to a miniature IMU.

図 9-20：ミニチュアの IMU に接続された、他の IMU 試験機。

- IMUプラットホーム試験器は、完全なIMUプラットホーム、すなわち、安定化素子部または完全に動作可能なストラップダウンIMUを作動させる。3軸レートテーブル（運動シミュレータとも呼ばれる）が、しばしばIMUプラットホーム試験器の一部として用いられる；例を図9-21に示す。このようなテーブルはアイテム9(h)(3)で規制される。この装置で試験されたIMUは、すべての方向に於いて、地球の重力と回転を正しく検知し、誤って水平方向または垂直方向運動として出力するような事は無く、

Figure 9-21: A three-axis rate table for testing IMUs or gyros.

図 9-21：IMU 又はジャイロを試験するための 3 軸レートテーブル。

また固定基準座標系に基つく初期アライメント以降の航跡を見失うような事もない。

- IMU安定化素子取扱い治具は、IMU安定化素子部、即ちジンバルで支えられた、または浮かされている慣性機器を含むIMUの内部を、安全に取り扱う事ができる。注意深い取扱いによって、安定化素子部の組立、試験、調整の間に、その性能を劣化させること無く、多くの必要な操作を実施することが出来る。

- IMUプラットホームバランス治具は、IMUプラットホームの不平衡を測定し、これによって平衡をとるための調整を容易にする。平衡の中心は、飛行中の加速度や振動下でのトルク発生を避けるために、精密に出さなければならない。

- ジャイロチューニング試験台は、ジャイロの最適回転速度（rpm）を確定するために、所要電圧を与え全速度範囲に亘ってジャイロを作動させる。最適のrpmは、収集したデータから、ジャイロの誤差源の影響が最小になっていることが示された場合に得られる。ジャイロチューニング試験台の一部として用いられる典型的なレートテーブルを図9-22 に示す。

Figure 9-22. A typical rate table used for tuning gyros.

図 9-22：ジャイロのチューニングに使うレートテーブルの例

- ジャイロ動的バランス台は、回転質量ジャイロスコープ（コマ型ジャイロ）の高速回転部分を精密にバランスさせる。バランスはジャイロ性能と寿命にとって重要である。これらのバランス用機械は、もし、規定の性能を持っている場合は、アイテム9(h)(1)により規制対象となる。

- ジャイロ駆動/モータ試験台は、所要の電圧と周波数でジャイロまたはジャイロモータを駆動し、動作時間を累積することによりジャイロのベアリングを慣らし、設計回転速度（rpm）でのモータ性能を測定する。

- ジャイロ排気及び抽気試験台は、ジャイロ内部空隙を浄化し、所要の液体または混合気体を設計圧力で封入する。大部分のジャイロと加速度計は、長期経年性能改善のために不活性乾燥気体が封入されている。加えて、ある種のジャイロは正常に機能するため、所定の密度と粘性をもった規定の液体や規定の混合気体を容れるのに必要な内部空洞を持っている。

- ジャイロベアリング用の遠心加速試験用冶具は、飛行中に予測される加速度力に耐えるベアリングの能力を確認するための、遠心加速度試験装置でのジャイロの試験を容易にする。遠心加速度試験用治具はまた、ジャイロのベアリング保持リングから余分な潤滑剤を除くためにも用いられる。遠心加速度試験装置は図9-23に示す。

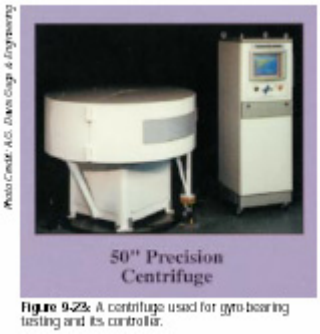


Figure 9-23: A centrifuge used for gyro bearing testing and its controller.

図 9-23：ジャイロベアリングの試験に使う遠心力装置とその制御器。

- 加速度計軸調整台は、入力軸を水平にしておいて、その入力軸周りに加速度計を回転することによって、加速度計の軸のアライメントをチェックする。この試験は、入力軸アライメントの安定性を測定するために、振動試験または温度サイクルの後で、しばしば繰り返される。加速度計入力軸アライメントは、所要の入力軸相互の直交度からの僅かではあるが重要な偏差を測定するために、IMUレベルで設置後に再度チェックされる。振り子式積分ジャイロ型加速度計（PIGA）アライメント台に関連する電子装置を図9-24に示す。

Figure 9-24: PIGA accelerometer alignment station control electronics.

図 9-24：PIGA 加速度計アライメント台の制御電子装置。

- 加速度計試験台は、加速度計が全範囲の位置と角度で重力を測定できるその精度を試験するために用いられる。これらのデータはその後、機器を較正するために用いられる。加速度計は垂直テーブル表面に取り付けられ、上向きと下向き交互に重力加速度を受けるよう回転される。いくつかのPIGA試験台を図9-25に示す。加速度計試験台は、図9-26に示すように、温度制御を含む試験を実施できる。試験は長期間にわたりデータを採る事のできる記録装置を用いる。

Figure 9-25: PIGA accelerometer test stations.

図 9-25：PIGA 加速度計試験台。

- バランス調整装置は、基本的には、極めて高精度に回転質量ジャイロスコープ（コマ型ジャイロ）のバランスをとるために用いられる。バランス調整装置はアイテム9(h)(1)で規制される。

- 表示ヘッドは、精度を失うことなしに、特定の方向で、繰り返し回転、停止のできる、

鋼製の精密円形テーブルである。これらはまた、タンブル試験器、目盛付きヘッド、位置決めテーブル、分割ヘッドなど、として知られている。9(h)(1)で規制されているバランス調整機械で使用できるように改良された表示ヘッドは、アイテム9(h)(2)で規制され、高精度、多軸表示ヘッド（例えば、位置決めテーブル等）はアイテム9(h)(4)で規制される。

Figure 9-26: A dividing head with a temperature control chamber for testing an accelerometer inside the chamber.

図 9-26：温度制御槽と分割ヘッド。槽内で加速度計の試験を行う。

- レートテーブルは、与えられた速度と角度で、テーブルを正確に回転させる精密機械である。これらは、これまで述べてきたように、通常、誘導装置の開発に於いて、機器とIMUアッセンブリを試験するために用いられる。図9-21はこのようなレートテーブルを示す；図9-27 は 2 軸レート積分ジャイロの運動シミュレータを示す。レートテーブルはアイテム9(h)(3)で規制される。

- 図9-23に示すような遠心加速度試験装置は、タンブル試験で間に合う±1 g 内の範囲を超える領域で、加速度計の非線形性を測定するために、加速度計試験台の一部として用いられる。遠心加速度試験装置はアイテム9(h)(5)で規制される。

Figure 9-27: A two-axis rate integrating gyro test station utilizing a motion simulator/rate table.

図 9-27：運動シミュレータとレートテーブルを用いた、2 軸レート積分ジャイロの試験装置。

外観（梱包状態）：梱包は個々の装置の大きさ、重さ、感度などで大きく異なる。しかし、これらのアイテムの多くは、衝撃や錆に敏感な精密装置なので、振動と湿気に対して防護するために詰め物をしたり、カバーをしたりして、梱包は強固にするのが適当である。装置の多くは分解が可能で、別々のコンテナや木枠に容れて出荷できる。

カテゴリⅡ～アイテム 10

フライト コントロール

アイテム１のシステム用に設計あるいは改良されたフライトコントロールシステム、と「技術」ならびに専用の試験・較正・調整用の装置：以下

(a) 油圧式，機械式，光－電子式，電子機械式フライトコントロールシステム（フライバイワイヤシステムを含む）

(b) 姿勢制御装置

アイテム 10 での注意

上記（a）（b）は有人機或いは衛星の一部、或いは有人機の交換用部品として輸出される事がある。

特性と目的：フライトコントロールシステムはミサイルの安定飛行や安定した旋回運動を行うに必要な操舵機構を提供する。通常、操舵機構は操舵指令信号を誘導装置、ミッションコンピュータ、或いは複合飛行機器システムなどから与えられる。

製造可能国

オーストラリア
オーストリア
ベルギー
ブラジル
ブルガリア
カナダ
中国
チェコ共和国
エジプト
フランス
ドイツ
ギリシャ
ハンガリー
インド
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ポルトガル
ルーマニア
ロシア
南アフリカ
韓国
スウェーデン
スイス
トルコ
英国
米国

フライトコントロールシステムは，駆動装置を内蔵している。駆動装置は方式によって、舵面を作動する、ノズルを動かす、噴流の制御を行う、推進装置を機能させるなど、それぞれの働きをする。フライトコントロールシステムは、また、センサーを持っていて飛行体の姿勢の変化､速度、姿勢の変化速度、高度、スロットルの設定値、大気温度、大気圧などを検知する。フライトコントロールシステムはミサイル機体の全体に配置されていて他の目的を持つシステムと一部兼用されている事もある。

センサーから制御コンピュータや駆動装置に送られる情報は､アナログ或いはデジタルの電気信号として送られる（フライーバイーワイヤ)。先端的なシステムでは、フライトコントロール用の機器間をデジタル信号で結ぶため光ファイバーを用いる事がある（フライーバイーライト)。光結合にすると、軽量化、電磁パルス・電磁妨害・雷等への感度減少、などを図ることが出来る。

操作方法：クルージングミサイルを含め無人機が､旋回や上昇などの動きを必要とした時フライトコントロールシステムはヘディングや高度を変えるよう指令を飛行体に与える。フライトコントロールシステムは舵翼をピッチ、ロール、ヨー、の動きを発生するように制御し、経路を変更させ、新しい飛行経路を維持するようにリセットする。フライトコントロールシステムは、通常ジャイロ安定装置即ちオートパイロット装置と共に作動し、機体が必要な運動をするように、操舵翼を制御する。オートパイロットはまた常に外乱による動きを補正するように作動する。弾道ミサイルも同じ様なフライトコントロールシステムを用いるが、弾道ミサイルの場合はミサイルの経路を変更する為にスラストベクトルコントロールや、小さな制御用ジェットを用いる。弾道ミサイルでも大気圏を飛行している場合に空力操舵を使うものもある。

ミサイル関連の用途：フライトコントロールシステムには、ミサイルの安定飛行や安定した旋回運動を行うことが求められる。これらのシステムは通常ミサイルの飛行特性や、任務要求に合わせて設計されるので、それぞれのミサイル固有のものになる傾向をもっている。宇宙機発射用ロケットや無人機を含め、殆どのミサイルにフライトコントロールシステムは装着されている。

他の用途：ミサイルのフライトコントロールシステムに用いられているコンポーネントは、軍用、民用の航空機にも使用可能の場合が多い。

外観（生産状態）：フライトコントロールシステムは､纏まった一つのシステムではなく、ミサイルの機体の中に分散している。フライトコントロールシステムは一般的に駆動装置（アクチュエータ）､電子部品､専用ケーブル、センサー類などから構成されている。

駆動装置は空力舵面を動かすのに用いられ､ロータリー式､或いはリニア型のものがある。ロータリー式駆動装置は電気モータで動かされ、入力コマンドに比例して応答する。駆動装置は閉ループ制御系の一部であり、制御系には駆動装置の位置を検出するセンサーや増幅器がふくまれる。駆動装置の機械的な出

力は操舵翼のシャフトの軸或いは舵面の取り付け軸に対して働く。スラストベクトル制御（TVC）用の駆動装置であるロケットノズルを図 10-1 に示す。小型ミサイルの尾翼を動かす電子機械式の駆動装置を図 10-2 に示す。この駆動装置は、舵面を動かして、必要な空気力を発生させるだけでなく、大きな加速度の発生する発射時や旋回時に舵面全体にかかる質量を支えなければならない。リニア駆動装置は直線的な動きを回転動作に変換するような機械的継ぎ手によって、舵面に結合される。これらの駆動装置は電気モータ、高圧ガス、油圧などによって動力をあたえられる。大型の固体ロケットモータに使われる油圧式の TVC 用アクチュエータを図 10-3 に示す。

Figure 10-1: An electromechanical actuator for thrust vector control of a rocket nozzle.

図 10-1：ロケットノズルのスラストベクトルを制御するための電子機械式の駆動装置

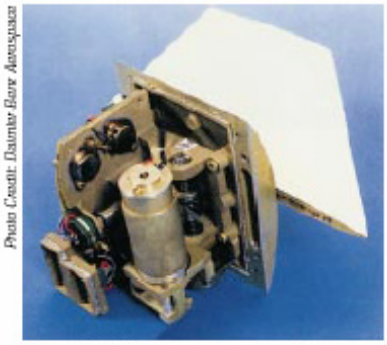


Figure 10-2: An electromechanical flight control actuator for a tail fin of a small missile

図 10-2：小型ミサイルの尾翼を駆動する、電子機械式の飛行制御用駆動装置

外観（梱包状態）：操舵翼とアクチュエータはかなり堅固な装置である。通常、梱包は木枠、ダンボール、或いは木箱などである。部品のような形状に包装し出荷用のコンテナに固定し収められる。これに反し、フライトコントロールシステムに使用されるセンサー類は、かなりデリケートで、通常、個々に包んで耐震性の箱或いは木枠に収められ、更に防湿性の箱に収められる事も多い。

Figure 10-3: Hydraulic TVC actuator.
図 10-3：油圧式の TVC 駆動装置

(c) 無人機の飛行中における空力性能を最適化する為の機体、推進性能、揚力制御性能等の統合設計技術

(d) ロケット軌道最適化の為、フライトコントロール、誘導、推進装置等のデータを総合的に飛行管制システムに取り込む設計技術。

製造可能国
オーストラリア
オーストリア
ベルギー
ブラジル
ブルガリア
カナダ
中国
チェコ共和国
エジプト
フランス
ドイツ
ギリシャ
ハンガリー
インド
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ポルトガル
ルーマニア
ロシア
南アフリカ
韓国
スペイン
スウェーデン
スイス
台湾
トルコ
英国
米国

特性と目的：ミサイルや航空機を安定に、且つ制御して飛行させるということは、極めて難しい力学的制御問題である。これを解くには、飛行中の全域に亘って、全てのサブシステムの働きと互いの相互作用に付いて精通した知識を持っていなければならない。これらに付いての理解は通常、風洞試験、飛行性能をシミュレートするための計算機モデル、細部に亘る飛行試験計画などからもたらされる。統合化設計技術によって、ミサイル設計技術者は複雑にかかわりあうサブシステムの働きについて理解し、構成や機能配分を最適化することが可能になり、その結果誤差を最小にすることが出来る。かくしてこの技術は、ミサイルの設計、試験、製造に要する時間を減らし、さらにはミサイル性能の改善に役立つのである。

操作方法：開発計画の早い段階では、通常、統合設計技術は計算機プログラムのなかで、飛行体制御システム、誘導、推進、機体等のモデル化をおこない、可能な飛行形態を全てシミュレートし理論的な性能予測を行う。設計者はサブシステムのパラメータを変更しながら、シミュレーションを繰り返し、最良の性能を与えるパラメータを選ぶ事が出来る。開発の後半では、“hardware-in-the-loop”シミュレーションが実施される。このシミュレーションでは実際に使用されるサブシステムのハードウェアが一部フライトテーブルなどのテスト架台に装着され、これをループの中で稼動させながら、計算機が模擬する飛行環境でのシミュレーションを実施する。実際の飛行条件を模擬するため、シミュレーションに風洞などある種の試験設備が使用される事もある。この技術の中で、通常は、予見することが困難だったり、模擬することが困難なハードウェア相互の干渉による、実際の影響を見つけることが出来る。例えば、米国のスペースシャトルは、最終組立形態で飛行試験を行われたことは決してない。数多くの構成部品やサブシステムが、如何に厳しくテストを受けてきてもシャトルが乗員を乗せてとぶのは実際の打ち上げの時が始めてである。この様な事が行われるのは、“hardware-in-the-loop”シミュレーション無しには考えられないことである。

ミサイル関連の用途：纏まった要求仕様になっている訳ではないが、今日、無人機、ミサイル、ロケット等のシステムは、性能の改善や確認、コスト低減、開発期間の短縮等のためにこの統合設計技術を用いている。

他の用途：同様の統合設計技術は、民間及び軍用の航空機の設計・製造に用いられる。

外観（生産状態）：典型的な統合設計技術は、磁気媒体等にストアされた計算機プログラムの形態をとる。マグネチックテープ、フロッピディスク、可般型ハードディスク、コンパクトディスク、文書などなど、ごく普通の媒体がこれらのソフトウェアや、データを蓄える事が出来る。

外観（梱包状態）：磁気テープ、フロッピディスク、可般型ハードディスク、コンパクトディスク、文書など統合技術が記されているものは、他の記述がなされている媒体と区別がつきにくい。標識か添付書類で仕分ける以外は適当な計算機にかけてみないと分からない。文書を含め、この技術は計算機ネットワークで送付することが出来る。

カテゴリⅡ～アイテム 11

アビオニクス

アイテム１のシステムに使用する為に設計もしくは改良されたアビオニクス(航法)装置、「技術」、コンポーネント及び専用のソフトウエア。以下

(a) 高度計を含むレーダ及びレーザレーダシステム。

アイテム 11 の注意事項：

(1) ここでの機器は、有人機、人工衛星等の構成品或いは有人機用の交換部品として、輸出されることがある。

(2) ここでの品目に含まれる、機器の例は、

(a) 地形作図機

(b) 情景表示及び照合装置（デジタル、アナログ共）

(c) ドプラー航法用レーダ

(d) パッシブ干渉計

(e) 撮像センサー（アクチブ、パッシブ共）

(3) 上記（a）のレーザレーダシステムには、反射特性、ビーム角速度、位置などから標的を検出、距離､方位を見つけるための伝送、走査、受信、信号処理などレーザ利用の専門技術を含むものとする。

特性と目的：レーダ、レーザレーダ（LADARs），赤外（IR）レーザレーダ（LIDARs）などは複雑なセンサシステムで、無人機,特に巡航ミサイルに、標的の捕捉、追尾、誘導等の機能を持たせるために用いられる。地形照合用レーダは無人機、弾道ミサイルなどに用いられている。レーダ、レーザ高度計は、これほど複雑なシステムではないが巡航ミサイルの航法装置、地形回避装置などに使われ又、巡航ミサイル、弾道ミサイルなどの弾頭起爆装置として使用される。最近、送信機、受信機、アンテナ、信号処理などの分野で著しい技術的進歩が見られる。

製造可能国
オーストラリア
中国
フランス
ドイツ
インド
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ロシア
南アフリカ
韓国
スウェーデン
台湾
英国
米国

操作方法：レーダ、LADAR、LIDAR などのシステムの作動には似通ったところがある。これらは、電磁波のパルスを放射し地形や標的から反射されて返ってくるエネルギーを検

出する。反射点までの距離は、送信から反射波が返って来るまでの経過時間の半分に、光速を乗じる事によって計算される。標的或いは反射地点の方角は送受信パルス間の角度から求められる。このようにして、順次求められた標的或いは地形の映像は、用意されている映像と比較され、必要に応じてミサイルのコースを修正する。

レーダやレーザの高度計も同様な作動をするが，これらはミサイルと直下の地面との距離を計測するだけである。これら地表からの距離を正確に計測できる高度計は，低空飛行するミサイルが地形の回避を行うのに役立ったり、また、この値を高度マップと比較することによって航法手段にも使われる。レーダ高度計は又弾道ミサイルの高度信管にも使われる。

ドップラーレーダ航法システムは，レーダ高度計と似たように作動するが、送信，受信の経過時間を見るのではなく，双方の周波数を比較する。周波数の変化は、地上に対するミサイルの動きから生じるもので、これから直ちにミサイルの速度を計ることが出来る。反射電波の強さが十分ならば、多重アンテナでミサイルの任意方向の速度を計ることが出来る。この速度情報は、ミサイルのそれまでの累積誤差を修正するのに用いる事が出来る。

ミサイル関連の用途：これらのシステムは、クルージングミサイルで、標的検出、ホーミング、弾頭信管などに用いられる。これらは又、ミサイルがある高度を維持し、あらかじめ与えられた飛行経路を飛ぶように、航法装置としても用いられる。さらには、弾道ミサイルの終末誘導や、信管としても使用することができる。

他の用途：レーダ，ドップラー航法システムは航法、気象観測、衝突防止などの目的で、軍や民間の艦船，航空機に使用される。レーダ高度計は、多機種にわたる航空機に高度測定を初め、多くの目的で使用されている。LIDARs は、大気観測、海洋研究、煙突からの排気研究などに使われている。

外観（生産状態）：ミサイルや、無人機のレーダシステム（シーカ、やセンサーとして）は、通常一体物の装置として設計されている。装置の前面には、アンテナ部があり、その電源部、制御部、信号処理部が、一個或いは幾つか（分かれてはいるが，接続されている）の筐体に収められている。アンテナ部は通常円形或いは楕円形ビームの送受信を行っており、ビーム形成エレメントは電力増幅器，及び導波器に結合されている。導波器は通常長

方形の管で、増幅器からの信号を放射エレメントに送り込む。アンテナ形状は平面か楕円形でミサイルの胴径に納まるようになっている。アンテナは電子走査を行うシステムになっているか，機械的に走査を行うようジンバルに装着されたシステムになっている。アンテナの取付け機構は、発射や、乱気流、旋回などでもたらされる、かなりの振動に対し、安定と、精度を保てるよう十分しっかりしていなければならない。アンテナ支持機構や付属装置の収納筐体の形状、重さなどは、ミサイルのシステムごとに大きく異なったものになっていて、それぞれのミサイルシステムに適するよう、特有の形状になっている。例えば内部冷却を助けるよう，筐体の形状を円筒形或いは、円錐形にしたり、筐体の内側をミサイル外筒に近付け、冷却が行われやすくするような工夫がされている。

レーダ高度計は、一般的に言って、前面に固定された送受信アンテナがついているレーダシーカなどのセンサーよりは、かなり小さなものになっている。高度計のアンテナは、地上の方を向いていないといけないが、通常，平板、方形或いは円盤などの形状で、取付け面はミサイルの外形状と合うようになっている。所要電力や情報処理量は、レーダシーカなどに比べ､はるかに少ない。送信機､受信機は普通同一筐体に納まっており、同軸ケーブルでアンテナに結合されている。このサブアッセンブリーは､通常 0.05 立方メータ以下の大きさで外部冷却は必要としない。受信機・送信機・アンテナなどで構成されている、標準的なドップラーシステムは､通常 0.007 立方メータほどの大きさで、重さ 5ｋｇ以下、所要電力 12 ワット程度である。

LADAR、と LIDAR システムはレーダシステムと異なり、可視光や赤外線（IR）等はるかに波長の短いものを使っている。これらは､光学系のレンズや窓などの外観で､直ぐそれと見分けがつけられる。長い波長の遠赤外で作動するシステムでは、光の取入れ部が金属であるように見える事がある。レーダアンテナと同様、システムの光学部は固定或いは可動の形式があり、各部分が、分かれた形になっているものもある。構造は重く､がっしりした取付けになっている。一般的に、これらの取付け表面に塗装はされていないが、導電性の耐腐食コーティングが施されている。航法装置の全てのシャーシは、アース機能がきちんと考慮されていて、電磁的な障害に耐えるようになっている。

外観（梱包状態）：これらのシステムは、通常のミサイルの取扱い、貯蔵、厳しい飛行環境などには、耐えられるように作られているが、輸送コンテナや環境条件から思わぬ力が加わったりしないよう注意して梱包しなければならない。アンテナの構造とりわけその駆

動部の造りは繊細なので十分保護する必要がある。システムは、気密の容器に密閉され、耐衝撃のコンテナで出荷される。一番外側のコンテナには、金属性のドラム、木製の箱、複合材や金属の箱など、いろいろ使われる。

(b) 受動センサーであって、特定の電波源への方位を定め（direction finding equipment）たり、地形の特性を知るためのもの。

特性と目的：方位検出装置（Direction finding system）は移動体に、予め知られている地点から送信されている電波放射源への方位情報（角度の方向）を与える。地形や標的の特性は､映像システム、通常は可視または赤外カメラによって与えられる。これらのシステムは相手からエネルギーを受けるだけで、自らエネルギーを放射することはないので、パッシブ（受動系）システムと呼ばれているが、当然のことながらこのようなシステムを用いているミサイルは相手からは発見され難い｡可視､赤外共に無人機の誘導及びペイロードセンサーとして、また時に弾道ミサイルの終末誘導用に用いられてきた。

製造可能国
オーストラリア
中国
フランス
ドイツ
インド
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
台湾
英国
米国

操作方法：方位検出装置は幾つかの既知の地点からの電磁波を受信する為パッシブセンサーを用いている。例えば、二箇所以上の地上固定局からの信号到達時間を比較すれば､ミサイル搭載のコンピュータが、ミサイルの現在位置と方位を確定することが出来る。この情報に基付いて、複合飛行システムは、あらかじめプログラムされた飛行計画に沿うように作動することが出来る。対放射源誘導シーカは一箇所からだけの電波を受けて、それを処理し、ミサイルをその放射源に向かって誘導する。

映像センサーは地形の特徴を航法に利用する。光学系は、数枚の固定または可動式の焦点レンズ、映像強調器、景色をデジタルマップに変換する為の光電子アレイなどで構成されている。この機器は、可視光、或いは赤外の波長のもとで作動する。夜間、強度の強い照明下で用いる可視光のシステムは、セミアクチブのシステムと言う事になる。これらのセンサーは、予め計画された飛行経路に沿って定められた地点の映像を写していく。映像はデジタル化され、予め蓄えられているおなじ地域のデータと比較される。二つの景色の差は、飛行体の方位を修正する為の位置誤差に変換される。又、イメージセンサーは人間

を介して行う誘導方式にも使われ、その場合、標的近辺の景色は飛行体を実際に誘導している人物の前に表示される。これによって操縦者は UAV を目的地に誘導したり、ミサイルを標的にロックオンさせたりする。ロックオンしたミサイルはその後自動的に標的にホーミングし命中に至る。

ミサイル関連の用途：イメージングシステムによってデータ更新を行えるような慣性誘導システムは、高精度の巡航ミサイル、あるいは弾道ミサイルの終末誘導に用いられる。

他の用途：干渉型方位検知システムは、航空機、艦船、陸上車輌に用いられる。イメージセンサーは、多くの戦術的軍事システムに使用されている、例えば航空機からの武器投下などにはよく使われている。イメージセンサー技術（センサー、及び処理技術共）は、又ロボットや写真技術の世界でもよく使われている。しかしながら、クルージングミサイル用に開発されたイメージングシステムは通常民生用への応用はない。

外観（生産状態）：方位計は、三つの要素で構成されている。アンテナ或いはアンテナアレイ、受信機、信号処理部である。アンテナはパラボラ或いはフェーズドアレイのような平板型で通常ジンバルに装着され、ミサイル内部に収まる大きさになっている。受信機は小型で消費電力の小さな装置で、電源用、信号出力用のコネクター、アンテナ結合用の同軸コネクターなどが付いている。信号処理部は、他の電子部の中或いは、独立に電子部として纏められた筐体内に収められていることもある。これら信号処理部の形状は、いろいろ異なっており、その目的や機能からと言うよりも、むしろ設計者それぞれの好みで決まっている事が多い。信号処理部の大きさは、一片が数センチのものから数十センチのものまでいろいろある。

イメージングセンサーはレンズと可視光或いは赤外素子からなる。いわゆるカメラである。これは電源、制御部、処理部などからなる電子部があって機能する。例を図 11-1 に示す。別の赤外線カメラを図 11-2 に示す。可視光センサーは光学レンズと光窓でそれとわかる。赤外センサーの光学部は金属のように見えることもある。フラッシュユニットは、反射器とガラスチューブを蔽っている大きな光窓がある。

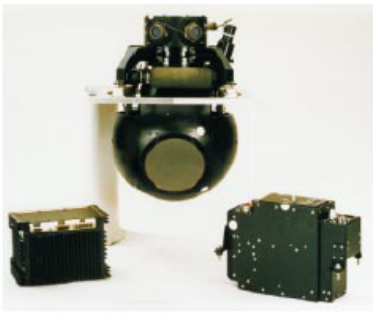


Figure 11-1: An infrared imaging sensor for an unmanned air vehicle (top) and its associated electronics.

図 11-1:無人機の赤外画像センサ(写真上)と関連電子装置。

Figure 11-2: A gyro stabilized IR camera with its window.

図 11-2：ジャイロ安定させた IR カメラと、そののぞき窓

イメージングセンサーは固定、或いは可動型があり、地形作図装置の残りの部分とは分離している事が多い。光学系の取付け部、支持部の構造は、堅固に作られており、発射時、タービランス、旋回時等に受ける大きな加速度に耐え、安定性や精度を維持できるようになっている。飛行中レンズが地上を見ていられるように、レンズ近傍の装置の外形は、ミサイルの内側形状に添った形になっていることが多い。

外観（梱包状態）：アンテナ、光学素子などは衝撃に弱いので、特殊の保護梱包になっていることが多い。これらの素子は密封され湿気に耐えるように包装され耐衝撃性のコンテナで、出荷される。このコンテナにはいろいろのものが使われ、金属ドラム、木箱、専用の複合材或いは金属ケースなどがある。

ここで、完全なロケットシステム（弾道ミサイルシステム、宇宙打ち上げ機、気象観測ロケット等を含む）及び無人機システム（巡航ミサイルシステム、標的用無人機、偵察用無人機等を含む）とは、500 kg 以上の弾頭を、300 km 以上運ぶことができる飛翔体、及びこれらのシステムを造るため、特に設計された“生産設備”のことを言う。

(C) GPS 或いは同様の衛星電波用受信機であって

(1) 次のような運用形態のもとで航法情報を提供できるもの；

（ｉ）速さ 515 m/sec（1,000 nautical miles/hour）以上で且つ

（ii）高度 18 km 以上；或いは

(2) アイテム 1 で取り上げられている無人機に使用できるように、設計或いは改良されたもの。

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
南アフリカ
英国
米国

特性と目的：GPS（Global Positioning System）受信機は、飛行体の位置と速度情報を与える為の小型電子ユニットで、電源およびアンテナとの結合部を持っている。GLONASS（Global Navigation Satellite System）は GPS と同じような衛星システムである。

操作方法：GPS 受信機は、地球の周囲を正確な軌道で周回している GPS 衛星から送られてくる電波信号を受信する。これらの無線信号には、どの衛星からのものか、と、正確な時間規準を示す信号が含まれている。受信機は、4 個以上の衛星からの信号を同時に計測し衛星相互の時間のずれや、その地域などに関する情報その他から、現在の位置と、速度を決定する。GLONASS も GPS と殆ど同じような原理で作動する。両者に対して作動する受信機もある。

ミサイル関連の用途：軍用及び商用の GPS、GLONASS 受信機は、複合飛行システムの中で使う事が出来、巡航ミサイルを含む無人機等にきわめて精度の高い航法情報を提供する事が出来る。専用に設計された受信機は、弾道ミサイルに使う事が出来て、誘導装置の補助或いはデータ更新を行い、ミサイル精度を向上させる。

その他の用途：アイテム 11(C)(1)で示された GPS、GLONASS の受信機は、基本的にはロケットシステムの要求を満たすもので、他の用途には殆ど用いられない。アイテム 11(C)(2)に取り上げられている GPS、GLONASS の受信機は、航空機やヘリコプターに用いる事ができる。

外観（組立状態）：GPS，GLONASS の受信機はそんなに大きなものではなく、一辺が数 cm、重さは 1 kg に満たない程度のものである。例を図 11-3 に示す。通常、MTCR で対象とする GPS の受信機は、管理対象外の GPS と外見上は区別が付けられない。高度や速度の限界は､マイクロプロセッサのなかのファームウェアの働きで決められるからである。取り扱っている、GPS 受信機が MTCR 管理の対象品か否かを決めるには、受信機のモデル、シリアルナンバー、関連資料などによるのが一番よい。GPS 受信機は、図 11-4 に示すように、完成した誘導装置の一部として使う事もできる。

Figure 11-3: Global positioning system receiver/processor unit with its patch antenna.

図 11-3：GPS レシーバ/プロセッサユニットとそのパッチアンテナ

Figure11-4: A complete guidance package based upon Global Positoning System receivers.

図 11-4：GPS レシーバをベースにした完全なガイダンスパッケージ。

外観（梱包状態）：梱包は、小型で高価な、電子品の扱いと共通である。軍用品は、長期の保管に耐える様湿気に対して特に注意して梱包されている。

(d) 125℃以上で作動する様設計された軍用の電子組立部品及び構成品。

特性と目的：一般的に、ミサイルの設計者は、強力な性能をもつシステムを極めて小さなパッケージの中で実現しようとする。“強力な性能”とは、多くの電力が必要になること（例えば、ロングレンジのレーダ、精度の良い誘導装置など）を意味している。そして“小さなパッケージとは”電力密度が高くなることを意味している。もし電子回路が、高温で作動するように設計されていたとすれば、そうでない場合には冷却のために必要とされたであろう機器の分の重量だけ軽くなる事になる。このような高温の状況下で使用される電子組立部品、構成品類は信頼性を維持する為、設計や試験に多大の努力が払われる事になる。エレクトロニクスに厳しい、耐高温性を求める目的は、小型・軽量化を追及しながら、尚且つミサイルシステムの性能と信頼性を確実なものにしようとする為である。

操作方法：これら軍用電子組立品及び構成品は、他の一般的エレクトロニクスと殆ど同じように作動し、電池で働くのが普通である。しかしながら、不具合に対する大きな余裕を見込んだ設計になっており、この高い信頼性は、温度サイクル試験や加速経年試験（accelerated-age testing）などによって保証されるようになって来ているのである。

ミサイル関連の用途：耐高温のエレクトロニクスは、弾道ミサイルの誘導用コンピュータ、

慣性航法システム、再突入飛翔体などに用いられる。また UAV のレーダ、コンピュータ、シーカシステムなどにも用いられる。

他の用途：これらの電子品は実際上、他の全ての軍用機や軍用のシステムにいくらでも使用することができる。また同じような仕様の、似たような電子品は、民間の航空機や、船舶にもよく用いられる。尤もこの場合には、軍用機器の場合のように、厳しい試験を受けて得られる信頼性についての保証は、特になされていないかもしれない。

外観（生産状態）：電子品は通常小型､軽量で一辺が数ｃｍ、重さは数グラム程度である。これら電子機器の部品は、広く民間の商用に使われている多くの電子品に似ている。しかしながら、軍用電子品は民用の機器に使われる透明なプラスチック（DIP ｓ）容器ではなく、金属性或いはセラミックの容器に密封さ
れていることが多い。例外は、図 11-5 に示されるような、多重チップモジュールの中の高性能デジタルプロセッサー（DSP）である。超高速・大容量メモリーの積層高密度メモリーもこの（DSP）の中に含まれる。このような高価な装置は軍用への転化が十分考えられるが、図 11-6 のように、見かけは全く従来のもののような姿をしている事がある。

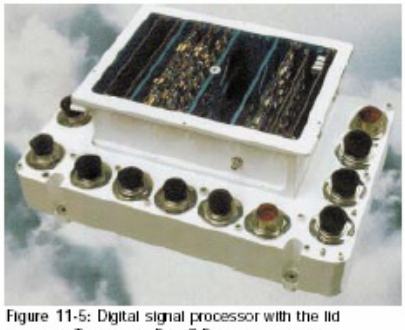


Figure 11-5: Digital signal processor with the lid removed. The size is 5 to 7.5 cm on each side.

図 11-5：蓋を外したデジタル信号プロセッサ。各辺の長さ 5～7 cm である。

軍用の電子品は、熱放散設計がなされている事が多い。物によっては、水冷による熱吸収装置がつけられている。ケーブル接続は堅牢な円形コネクター、或いはシールドケーブルのついた小型のボルト締めのものなどがある。電子品は通常電磁シールドされた筐体の中に容れられている。シールドは、密閉型のもの、或いは周りの圧を逃がすように孔のあるものなどがある。高高度で使われるミサイル用、或いは UAV 用には時に与圧した容器が用いられる。これは熱伝導や熱吸収をしやすくするためである。筐体材には主にアルミニウムが用いられるが、表面は塗装されるか、或いは腐蝕防止用にニッケルメッキされている。

Photo Credit: AAI Corp.

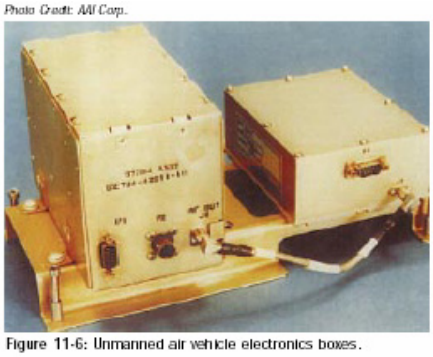


Figure 11-6: Unmanned air vehicle electronics boxes.

図 11-6：無人航空機の電子装置の筐体。

外観（梱包状態）：電子組立品や部品は、通常、耐震の為気泡ゴムや気泡包装で包み静電気要注意の標章をつけたプラスチックのバッグで、ダンボールに容れられ、或いは 20 kg を超えるようなときは木箱に容れられ出荷される。

(e) 外部から来る電磁パルス障害(EMP)や電磁波干渉を防ぐ為の以下のような設計技術:

(1) シールド設計技術

(2) 電子回路やサブシステム構成設計技術

(3) 上記に対する規準の確定

製造可能国
中国
フランス
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的：電磁パルス（EMP）及び電磁干渉（EMI）技術は、強力な人為的電波ノイズ、とりわけ核爆発によってもたらされる電波ノイズ環境下で、システムの残存性を高める為のものである。この為には通常、少なくとも 3 種類の技術が同時に用いられる。干渉を防ぐ為、感度の高い（選択性の高い）回路構成を選ぶ；電子回路は、導電性のある筐体に収める；それから入出力のワイヤーをサージ電流抑圧装置で保護する。EMP、EMI から回路を保護するために使われる技術は、特別なものではなく、珍しいものではないが、仕様を決めたり、それを実現することは困難で、ややこしい問題である。回路網の接続法、抑圧装置の使用法、武器効果の予測モデル、基準値の生成などについては、相互計算機プログラムによって研究することができる。プログラムには武器とシステムのパラメータを入力し、電磁界や電流レベルとしての脅威環境を出力する。

操作方法：EMP、EMI 防御法は通常パッシブである。無線周波用カバーは導電性表面のエッディカレントとして、無線周波エネルギーを消耗してしまう。蓋や、ドアから中に電磁界が漏れ込まないように注意しなければいけない。金属性のガスケットや膜がそのような入口を塞ぐのに用いられる。入/出力の抑圧装置は、単に電界をアースに短絡するか、(電気的には正反対であるが）無線周波のチョークとフィルターを用いて高インピーダンスにするかである。しかしながらある種の抑圧装置では、ゼナーダイオード、transorbs、スパークギャップ、酸化金属バリスタなどを用い、これらはある電界の強さや電流レベルに応じてインピーダンスを変化させるのである。

ミサイル関連の用途：耐 EMP、EMI 設計技術は弾道ミサイルに適用される。それは、ミ

サイルの近くでの核爆発によってもたらされる EMP、EMI から、再突入部の誘導装置、電子部などを護る為である。この技術はまた、ロケットの段間分離システムなどに使う火工品が、早期に作動してしまったりするのを防ぐ為に用いられる。この技術は UAV などにも適用可能であるが、無人機などは核爆発や他の妨害源からは、かなり離れたところで遭遇する、比較的低いレベルの EMP、EMI に対する防御を考慮しておけばよいのが普通である。

他の用途：耐 EMP、EMI 設計技術は、人工衛星、軍用航空機、ある種の武器システム、などに用いられる。耐 EMI 技術は、短波ラジオ、ステレオ装置のような商用電子システムの設計にも適用される。これは、他の電子装置からの干渉を防ぐ或いはその影響を減少させる為である。発電所、送電線などへの落雷による過電流の防止装置なども耐 EMP、EMI 技術の適用例である。

外観（生産状態）：以上のような設計技術は教育やコンサルティングサービスを含む技術援助のような形式をとる事もできる。また技術は、青写真、計画書、図表、モデル、公式規格、技術設計と仕様書、そして、ディスク、テープ、ロムなどの媒体に記録されたマニュアルや指導書などの形をとる事もできる。ある設計技術は、装置そのものによって伝達される。組立部品は、通常アルミ容器の中に電波シールドされている。軽量化を要する用途のためには、電波シールドの薄い金属コーティングを施した、丈夫な複合材や、堅固なプラスチックの箱が用いられる。コーティングはアルミで通常筐体の内側表面に施される。金属表面は、通常塗装され、或いはニッケルメッキなどで、防錆処理されている。EMI 抑圧装置の例を、図 11-7 に示す。EMI/EMP 電子モジュールの例を図 11-8 に示す。組立電子品は外側の辺をアルミで保護されており、これが対になるモヂュールとカバーで密閉されると電磁遮蔽（ファラディーの檻）ができる。電子回路盤の下にあるアルミ板の表面は電磁遮蔽の働きをする。カバーのボルトは、狭い間隔で締められていて、合わせ目の

Photo Credit: Sabritec

Figure 11-7: Some electromagnetic interference suppression devices.

図 11-7：EMI 抑圧装置の一例。

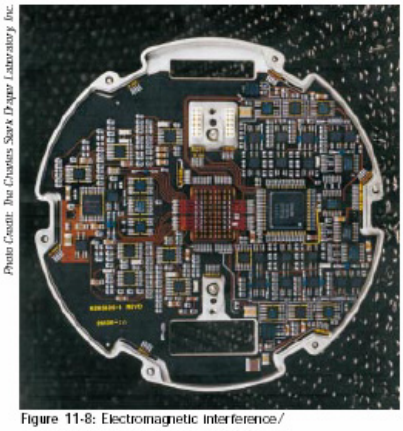


Photo Credit: The Charles Stark Draper Laboratory Inc.

Figure 11-8: Electromagnetic interference/ electromagnetic pulse electronics module.

図 11-8：EMI/EMP 電子モジュールの例。

隙間をなくし、軟鉄、金属を充填したパッキング、金属バネ、あるいは、ワイヤーメッシュなどを使った高周波用パッキング上の圧力を維持する様にもなっている。EMI/EMP 用電子品は、スペース上の制限に適応する為どのような形状も採れるようになっている。

外観（梱包状態）: レポート、データ、規準生成プログラム、などの形態をとった技術は、事務用大型封筒に入れられていたり、通常の計算機用記録媒体に入れられていたりする。EMP/EMI 電子組立品は、スポンジゴム或いは発泡ビニールシート（バブルラップ）などの緩衝材と共にダンボール箱に容れて出荷される。重量が 20 kg を超える場合には、木箱が用いられる。これらの組立品は、実際にはそうでなくても、しばしば、「静電気要注意装置」（electrostatic - sensitive device （ESD））の標識を付けたプラスチックの鞄に入れ出荷されることがある。

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等

目次

Ｃ．ロケット試験設備とステルス技術等

第１章　アイテム１２　発射支援‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 211
第２章　アイテム１３　電子計算機‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 227
第３章　アイテム１４　アナログデジタル変換機‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 230
第４章　アイテム１５　試験装置‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 233
第５章　アイテム１６　モデリングと設計ソフトウェア‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 250
第６章　アイテム１７　ステルス‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 254
第７章　アイテム１８　核の影響からの防護‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 265
第８章　アイテム１９　その他のロケット及び無人航空機システム‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 269
第９章　アイテム２０　その他の完全なサブシステム‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 271

おわりに

カテゴリⅡ～アイテム12

発射支援

アイテム１のシステム用の発射支援装置、設備及びソフトウェアで次に示すもの。

（a）アイテム１のシステムの取扱、制御、活性化及び発射のために設計又は改造された機械又は装置

製造可能国
オーストラリア
中国
フランス
インド
イラン
イスラエル
イタリア
日本
オランダ
北朝鮮
ロシア
韓国
スウェーデン
台湾
英国
米国

特性と目的：アイテム12（a）に含まれる発射支援装置はアイテム1システムで定められた（取扱、制御等）性能、機能に対するすべての装置、機器用に設計又は改造されたものである。これらの機能は移動又は固定システムで制御される。これらの機器や装置の例を次に示すが、これに限られたものではない。発射台装置、移動発射台、遮蔽室、地下発射サイロ、取扱装置、システム試験及び検査装置、指揮統制装置。これらの装置でコンクリート発射台のような単純なものもある。その他のものとしては最新の人工衛星打ち上げ装置（SLVs）に使われる複雑な発射装置、移動発射台がある。決定因子はそれらがアイテム1システムに設計又は改造されているかである。

操作方法：弾道ミサイル発射に用いる操作と装置の要点は移動の特徴である。ミサイルが発射点に移動するにはトラック、列車、発射台装置、移動装置による。ミサイルは所定位置に立てられる。ミサイルは射点の特製起立機か移動発射台についているクレーンで設置される。サイロではミサイルは運搬車のクレーンでサイロに下ろされるか又はミサイルの各段をクレーンかウインチでサイロに下ろしその中で組立て設置される。液体ロケットのミサイルはポンプ、タンク、パイプ、ホースで給燃される。誘導システムはコンパス又は探知装置で校正及び調整がされる。校正操作は初めに行われその後定期的又は発射前に更新される。多くの誘導システムは地球回転検知器により自動校正ができる。発射前に目標データー及び飛行経路が誘導システムに入力される。サブシステムの性能はコントロールセンターからのケーブルによってミサイルに設置された

電気的及びソフトウェア試験器によって確認される。待機中のミサイルは連続して確認される。すべての返答が確認され満足されると発射準備が完了し発射行程の指令が完了する。無人航空機、巡航ミサイルは標準化された支援装置を持ち各種の発射装置が設計されている。

ミサイル関連の用途：発射支援装置はミサイルの調整、発射に必要である。これらの装置の或るものはミサイルの飛行形態の全て又は一部についての監視又は制御を続ける。

他の用途：ミサイルの発射に必要な油圧システム、制御電子機器、電子計算機、タンク、パイプ及び通信機器は多くの他の用途の要求と同一でなくとも類似している。運搬、取扱、起立機、目標捕捉及び試験アルゴリズムはミサイル独自のもので他に用いられることはない。サイロベースの発射支援装置は弾道ミサイル用に特殊で民用途はない。

外観（生産状態）：コンクリート製エプロンを備えた発射台装置はミサイルが設置された比較的小さいスタンドがあり移動発射台は鉄製 I ビームで作られている。移動発射台にロケットを設置した小システムを図12-1に示す。発射台で軍用のものは一般に推進薬貯蔵槽、ポンプ、取扱装置を備え、タンクとポンプ車を連結して運用する。指揮統制及びシステム点検装置を備えこれらの運用もトラック中の装置と連結して行う。

Figure 12-1: Minimal launch pad with a gantry and connections to a complete rocket system.
図 12-1：ガントリーと接続ケーブルを有するロケットを設置した小型発射台

外観（梱包状態）：発射台、移動発射台、サイロは現地組立のもので輸送用装置ではない。電子部品やそのコンソールは輸送又は貯蔵中の衝撃や湿気から保護するために密封包装され個別に箱又は木枠で梱包される。小型～中型の発射制御に用いる電子装置は保護箱に入れられ運搬用パレットで積まれる。或種の発射支援電子装置は手持ちでスーツケースの大きさである。

(b) アイテム 1 のシステム用の運搬、取扱、制御、活性化及び発射のために設計又は改造された車輌

製造可能国
オーストラリア
ブラジル
中国
エジプト
フランス
ドイツ
イインド
イイラン
イイラク
イイスラエル
イタリア
日本
リビア
北朝鮮
パキスタン
ロシア
韓国
スペイン
シリア
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：ロケット及び無人航空機でアイテム 1 に含まれるものはトラック、列車、航空機、船舶及び潜水艦から発射される。固定場所からの発射を含めて輸送及び取扱のために運搬車輌が必要である。運搬起立、ミサイル発車用に改修された車輌は一般に他用途が無いので区別できる。これらの車輌は固定発射施設と異なった可動発射台を備えた移動起立発射台（TELs）である。この他ミサイル及び無人航空機は通常の移動方法であるトラックによる牽引方法で（自走）起立発射機（ELs 又は MELs）で運ばれ発射される。ロケット又は無人航空機を活性化して目標照準、制御に必要な指揮統制装置を運搬するために改修された車輌も区別できる。サブアイテム 12(b) において MTCR は装置が組込まれた車輌も規制している。組込まれる装置（起立機/発射メカニズム）は車輌から取り外されても 12(a) で規制される。

操作方法：TEL及びその他の移動発射台は発射支援施設の準備の所で述べたのと同様な準備と発射機能を持っている。TELはロケット又は無人航空機を組立場でクレーンで積み込む。クレーンはTELの部品である。TELはロケット又は無人航空機を射点に移動させ発射位置に起立させる。或るミサイルはこの位置で別のタンカーかポンプトラックで給燃する。その他のものは推進薬を積み込んで移動している。発射係は発射体と導線を結合してロケット又は無人航空機システムの発射準備を確認する。目標標定又は飛行計画情報を挿入し誘導システムの調整と補正を行う。すべての準備が完了すると発射係は離れた所の司令制御トラックに移動する。

ミサイル関連の用途：ロケットシステム又は無人航空機に関するTEL及び構成される司令制御及び支援車輌システムは車輌設計又は改修が必要となる。

その他の用途：これらの車輌、油圧システム、電子制御、電子計算機、通信装

置は一般に広範の民用及び軍用装置から得ることができる。

Figure 12-3: An ICBM transporter erector launcher with the missile in a launch canister.

図 12-3：発射容器中のミサイルを積んだ ICBM 移動起立発射機

Figure 12-2: Transporter erector launcher with a short-range ballistic missile erected

図 12-2：短射程弾道弾を起立させた移動式起立発射機

外観（生産状態）：弾道ミサイル用に設計されたTELの特徴はミサイルを垂直位置に起立させることができる起立機構にある。3軸又は8軸のゴムタイヤ付牽引トレーラーかローリーが必要である大型の機体が積込まれる。MELs の外観は精巧なドーリー（自走式撮影機）のようである。両形式の車輌例を図12-2、12-3、12-4に示す。

弾道弾をサイロに運び設置させる二様式の車輌を図12-5に示す。

Figure 12-4: An erector launcher detached from its prime mover.

図 12-4：牽引車から外した起立発射台

Figure 12-5: Two different approaches to silo-based missile transporter and installation vehicles.

図 12-5：サイロ使用ミサイルの移動及び設置車輌の様式二種。

Figure 12-6: A transporter erector launcher for a large, Category II cruise missile.

図 12-6：カテゴリーⅡの大型巡航ミサイル用移動起立発射機

Figure 12-7: Rocket-assisted unmanned air vehicle erector launcher and its associated command-and-control van.

図 12-7：ロケット補助無人航空機起立発進機と支援司令制御有蓋車輌

無人航空機用に設計されたTEL又はMELの特徴は比較的単純なことと発射用に傾斜できる発進機構（レール又は発射筒）の存在である。発射構造は発射する無人航空機によって寸法、質量共に非常に変わる。油圧補助又はロケット補助による無人航空機の発進機構は2～3mと小さい。同様な発進機構がトラック又は車輌に搭載される。四種の無人航空機発進機を図12-6、12-7、12-8、12-9に示す。

Figure 12-8: A transporter erector launcher used to transport and launch cruise missiles.

図 12-8：巡航ミサイルの輸送及び発進用の移動起立発進機

Figure 12-9: A pneumatic unmanned air vehicle launcher.

図 12-9：滑走路式無人航空機発進機

TEL及びMELに構成される司令制御トラックの例を図12-10、12-11に示す。無人航空機用司令制御トラックを図12-7に示す。ここに示した司令制御トラックはミサイルの設置や操作を支援する。

Figure 12-10:
Command-and-control vehicles suitable for launching missiles from fixed or mobile locations.

図 12-10：固定点又は移動場所からミサイルを発射させる司令制御車輌

Figure 12-11:
A deployed command-and-control truck used for ballistic missile operations.

図 12-11：配置についた弾道弾操作に用いる司令制御トラック

外観（梱包状態）：TEL又はMELに用いる発射レール及び起立機構は一般に車輌又は車台に組込まれている。その結果これらの装置は製造所から輸送される場合車輌又はトレーラー上の定位置に設置されている。この車輌は運転、牽引、または鉄道で利用者の施設に運ばれる。その他軍用又は民用車輌と同様に梱包され輸送される。

(c) 航空用又は船舶用に特に設計又は改造された重力計及び重力勾配計で静的又は運用精度が 0.7 ミリガルより優れ、定常表示時間が 2 分間以内のもの。

製造可能国

相対重力計：
カナダ
中国
ドイツ
ロシア
米国

重力勾配計：
米国

特性と目的：**重**力計と重力勾配計は各地の重力を非常に正確に測定する。これらのデーターで弾道ミサイル射点の周り数キロメーターの地上重力分布のデジタル図を作成する。重力の地域における変化をミサイル誘導ソフトウェアに入れて計算しないと誘導が不正確になる。航空機、ヘリコプター、船舶、潜水艦に重力計を装備すれば海上の重力地図を得ることができる。重力計を装備した航空機及びヘリコプターは山岳地形上の重力地図が得られる。重力勾配計は誘導システムの精度向上に用いられる。

操作方法：操作方法は装置の形式によって変わってくる。或るものは物体の落下時間を正確に測定する。他には電磁振子が回転台上を回転する加速度と釣り合う力を用いる。航空機、船舶、潜水艦の運動用に使用したり、測定用に地表面や海底に設置して使用する。船舶や航空機のように運動する架台用に設計されるシステムは慣性航法級のジャイロと架台センサーの二軸加速度計が必要となる。地表又は海底設置用に設計されたシステムは自動水平器のみが必要となる。重力勾配計は精密回転ターンテーブル上の高性能加速度計を用いる。加速度計が水平面で回転するとターンテーブル外縁での微細な重力変化を検出する。ターンテーブルの東と西側で得られた値の差の平均値をターンテーブルの直径で除すると経度方向の重力成分が得られる。同様にターンテーブルの北と南側で得られた値の差の平均値をターンテーブルの直径で除すると緯度方向の重力成分が得られる。複数の加速度計を用いると個別加速度計のスケールファクタードリフトを減じることができるし縁におかれた回転する加速度計のバイアスドリフト効果を殆ど除くことができる。

ミサイル関連の用途：弾道弾発射地点の数百キロメーター地域の重力地図は高精度が必要である。航空機搭載重力計で広域の略図又は山岳に隣接する海洋又は移動ミサイルを運用する地域の地図が得られる。船舶又は潜水艦搭載重力計は海が施設に対して影響する重力地図を作成し弾道弾を潜水艦又は海岸近くの陸上施設から発射する場合の精度を向上させる。発射点における重力は変動が僅かなので高精度重力地図は弾道ミサイルシステムに有用である。重力勾配計は海上や特徴の無い地形上の無人航空機の誘導に有用である。

他の用途：重力計と重力勾配計は石油及び鉱物探査並びに地質技術及び環境研究に使用される。重力勾配計は潜水艦の航法支援として使用される。

外観（生産状態）：重力計及び重力勾配計は高品質で敏感な電子及び機械装置である。重力計の外観は異なった目的に異なった会社が製作するので各様である。このシステムは一つの容器に組込まれ25×32×32 cm、14 kgと小型である。他のシステムは個別の容器に入れられ1立方米、350 kgと大きい。これらの大きなシステムは基本型の一個以上の梱包で輸送される。大気－海用の重力センサー部品はMTCRで規制された性能以下なので規制を受けない。図12-12 に示す。

MTCRで規制されない大気－海用重力計システムの完成品でミニコンソール型を図12-13に示す。図12-12と類似のシステムでも先に延べた性能以上ならばMTCRで規制される。

電子及び機械部品は硬質樹脂又は金属容器に入れられる。或るシステムは計器と制御盤を同じケースに収納する。他のシステムでは計器は制御盤と分けて収納する。これらの容器には電気的機械的制御盤が取付けてあり、台、回転制御盤用ノブ、トグル及び押スイッチがあり外部の電子部品及び電子計算機とはケーブルで接続している。或るものにはデジタル又はアナログの形式で収集されたデーターを監視する画面を備えている。またそのデーターを印刷するハードコピーの部品を備えている。システムを操作するバッテリーがある。システムソフトウェアが組込まれた電子計算機がある。或る重力計は図12-14に示すように地上に降ろしたケーブルによりヘリコプターから操作される。また或る物は

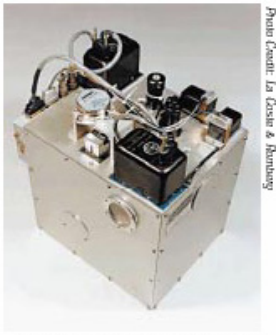


Photo Credit: La Coste & Romberg

Figure 12-12: Sensor unit for a non-MTCR-controlled air-sea gravity meter.

図 12-12：MTCR で規制されない大気－海用重力計のセンサー部品

Photo Credit: Scintrex Ltd.

Figure 12-14: A gravity meter that operates suspended from a helicopter. Its associated electronics, shown on the left, are installed in the helicopter.

図 12-14:ヘリコプターで吊るされて操作する重力計。これらの電子部品組立品はヘリコプターに設置される。左に示す。

Photo Credit: La Coste & Romberg

Figure 12-13: Complete non-MTCR-controlled air-sea gravity meter system with mini-console.

図 12-13：ミニコンソール型の MTCR で規制を受けない大気－海用重力計システムの完成品

船舶又は潜水艦から海底に降ろされて使用する。図12-15に示す、これらの装置はMTCRで規制されない。先に示した基準値を超える性能を持つ同様なシステムはMTCRで規制される。

外観（梱包状態）：これらのシステムは非常に繊細で高価なので発泡プラスチック、プラスチックポップコーン、プラスチック気泡包装材その他の衝撃吸収用に設計されたもので梱包され堅牢な容器に入れて輸送する。輸送容器には”こわれ物”、”取扱注意”、”精密機械”等の注意表示がされている。

Figure 12-15: A non-MTCR-controlled gravity meter lowered by a ship or submarine.

図 12-15：船舶又は潜水艦より下ろされる MTCR 非該当重力計。

(d) 無人航空機又はロケットシステムに使用できる遠隔測定装置及び遠隔制御装置

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
オランダ
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
スイス
英国
米国

特性と目的：遠隔測定装置はロケット又は無人航空機に対して地上から飛行情報を送るセンサー、送信機、受信機からなる。これらの装置は技術者が機体の飛行状況、性能、欠陥を起こす原因等を監視できる。この装置は主にロケット及び無人航空機（UAV）の飛行試験に用いる。飛行試験中の遠隔測定装置は全飛行中のデーターを取得する。遠隔制御装置はこれらの異なったセンサー、受信機、送信機が用いられミサイル又は UAV の全飛行中の遠隔制御に使用する。しかし多くの弾道弾及び巡航ミサイルの運用は自動飛行であり遠隔制御ではない。

操作方法：遠隔測定装置は開発中のロケット又はUAVに取付け重要な飛行パラメーター（加速度、振動、表面に取付けた装置の制御等）をモニターしこれらのデーターを地上局に送信する。受信したデーターを解析し表示し次の試験用に記録する。操作は外部アンテナを接続した建物内で行われる。このアンテナは三軸が回転できるジンバルに取付け飛行中のロケット又はUAVを追尾する。
代表的な遠隔制御システムはロケットとUAVとは異なっている。ロケット用に用いる指令誘導は発射点近くのレーダーによって追尾される。飛行経路データーは実飛行とその要求経路と比較される。飛行に変動が生じるとロケットシステムの受信機に地上局から無線で操舵指令が送られ指令を実行する。

この指令のループはエンジン作動が終了し飛行終了まで維持される。UAVの遠隔制御は人間介在のループ概念で使用する。UAVに取付けたテレビカメラのようなセンサーは地域の地形を制御盤へ画像で送信する。この画像を見て人間のパイロットはリンクされたデーターを通して機体に操舵指令を送る。

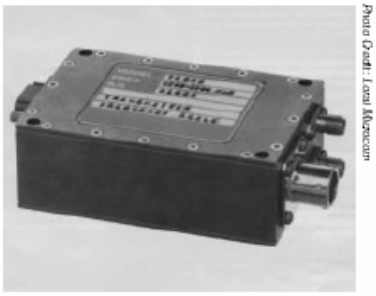


Figure 12-16: Telemetry transmitters for installation in flight vehicles.

図 12-16：飛行体に取付けられる遠隔測定用送信機

ミサイル関連の用途：遠隔測定装置はロケット及びUAVの飛行試験中の性能確認に重要である。このデーターが無ければ飛行試験は長期で高価になる。遠隔制御はしばしばUAV用途に用いる。遠隔制御は弾道又は巡航ミサイルの弾頭輸送には殆ど用いない。データーリンクは妨害や破壊に脆弱だからである。

他の用途：同様な遠隔測定装置が民用、軍用航空機の試験に用いられる。又工業的にも危険な環境にある化学その他のプラントで遠隔地点からのデーター収集に用いる。又危険な環境で運用する陸上ロボット車輌に用いられる。

Figure 12-17: A typical, but large telemetry reception antenna.

図 12-17：代表的ではあるが大型の遠隔測定用受信アンテナ

外観（生産状態）：飛行体に設置される遠隔測定装置は電源、ケーブル、アンテナ結合器と一緒に小さな金属箱に入れられる。図12-16に示すように変わった形態をしている。地上の最も特徴ある遠隔測定装置は受信アンテナである。これは図12-17に示すように二次元に回転できる大きなパラボラ状をしている。地上局で使用される電子機器の復調器、読取器、記録器、解読器及びディスプレーは通常の科学装置や電子計算機のように棚に組込まれている。

代表的な装置の形状を図12-18に示す。

Figure 12-18: Representative ground-site telemetry receiving and processing equipment.

図 12-18：代表的な地上局遠隔測定受信及び操作装置

UAVに設置された遠隔制御装置はUAVと地上局間の交信ができる。この装置は遠隔測定装置と同様に電源、ケーブル、アンテナ結合器は金属箱に入れられ図12-19、図12-20に示す如く全ての外観に特徴はない。或UAVは地上局との交信に人工衛星を用いるので図12-21に示すような特別なSATCOMアンテナが必要となる。他の交信システムは図12-23に示すように機械的に回転するアンテナを用いる。地上局のUAV用装置は飛行制御システム（一般に操縦棹台）、ビデオモニター記録装置で構成される。飛行制御盤を図12-24に示す。携帯用ビデオモニターを図12-25に示す。UAV用統合地上制御システムを図12-26に示す。

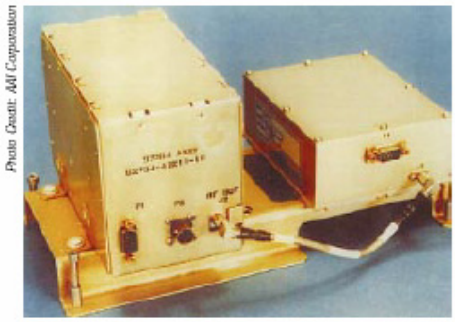


Figure 12-19: Unmanned air vehicle avionics. Left, a C-band transmitter; right, a UHF receiver.

図 12-19：UAV 用航空機器、左 C バンド送信機、右 UHF 受信機

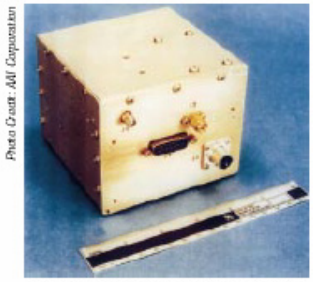


Figure 12-20: Unmanned air vehicle video and telemetry transmitter.

図 12-20：UAV 用画像及び遠隔送信機

Figure 12-21: A SATCOM antenna installed in an unmanned air vehicle.

図 12-21：UAV に設置された SATCOM アンテナ

図 12-24：UAV 用携帯飛行制御盤

Figure 12-23: A commercial system with a mechanically steered antenna (streamlining not shown).

図 12-23：機械式回転アンテナの民用システム（流線形は表示しない）

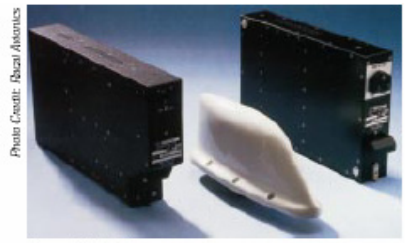


Figure 12-22: A commercial satellite transceiver with streamlined antenna.

図 12-22：流線形アンテナの民用人工衛星用受信機

図 12-25:UAV から送信されたビデオ画像用携帯ビデオモニター

Figure 12-24:
A portable flight controller console for an unmanned air vehicle.

Figure 12-26: An integrated unmanned air vehicle control station.

Figure 12-25:
A portable video monitor for displaying video transmitted from an unmanned air vehicle.

図 12-26：UAV 用統合制御局

外観（梱包状態）：電子装置、遠隔測定装置は繊細なので一般に緩衝されたボール箱又はは木箱で輸送される。容器には取扱注意を示す表示がされている。一般にこの装置は湿気や静電気から電子装置を保護するためにプラスチック容器に密封される。統合遠隔局のような大きな装置は各装置に分割して個別の容器で輸送する。

(e) 高精測追尾システム

(1) 飛行位置及び速度の実時間測定を行うために地上又は搭載された照合点又は衛星航法システムのいずれかと結合するロケット又は無人航空機に取付けられたコード中継機を用いた追尾システム

(2)光波/赤外線で構成された追尾装置を含む測距用レーダーで次の全ての能力を持つように特に設計されたソフトウェア

(i) 角度分解能が 3 ミリラジアン（0.5 ミル）より優れている

(ii) 30 km 以上の距離で距離分解能が 10 メーター二乗平均より優れている

(iii) 速度分解能が毎秒 3 m より優れている

(3) 飛行経路に従って機体の位置を決定できる記録データーを飛行後に処理できるソフトウェア

製造可能国
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
南アフリカ
スイス
英国
米国

特性と目的：精密追尾システムはロケットシステムの航跡又は UAV 飛行経路の精密な記録をする。技術者はこれらのデーターを使って機体性能を求め、また次の機体設計に役立てる。射場安全係技術者はミサイル飛行経路のモニターにこのデーターを用いる。ミサイルが危険な航路に偏向すると破壊される。精密追尾システムの他の用途として遠隔測定装置と連動して機体に加速時間履歴のデーターを送り返し、ミサイルの経路を修正させることができる。

操作方法：ロケット又はUAVに取付けたコード中継器は地上又は衛星送信機からの操作信号を受信する。これらの信号は時間調整データーとして送られコード中継器は各送信器間の距離を決定する。これらのデーターは異なったダウンリ

ンク周波数で地上局に送り返される。送信器は定位置なので地上局はミサイルの正確な位置と速度を決定できる。これらのデーターは実時間表示するか磁気ディスク又はテープに記録できる。

距離測定レーダーはミサイルの位置及び速度を求めるのにも用いられる。広視野のレーダーは機体位置の概略追尾に用いる。そして狭視野の目標レーダー、光学追尾、赤外線追尾装置を用いてミサイルの角度、距離、速度を要求精度で求めることができる。これらのデーターは時間ごとに起こった現象として記録される。これによって近似された変化は飛行体の小さな送信器にインストールされレーダーによって信号を送受信するのでレーダーが機体を追尾するのがより容易になる。

有用なデーターが収集されると時間と位置の情報は内挿される。飛行後のデーター処理はどこでもできるが主に実時間データーが受信、記録される遠隔測定データー処理センターで行われる。これらの記録されたデーターは読み取られフィルターされ処理される。処理された追尾データーは将来の解析又は出力プロット用にディスク又はテープに再記録される。

飛行後及び記録データーの処理ソフトウェアは飛行経路をスムーズに決定するために既に記録されたデーターを処理する代表的な数学的フィルタリングソフトウェアである。この処理ソフトウェアは実時間データーに欠落が生じたときに最適経路を推定するためにフィルター処理して時間同期での飛行体位置を推定するのに用いる。各種の数学的フィルター手法が用いられる。最も単純なデーター間の直線内挿及び高度なスプラインフィットフィルタリングのような多項式フィルタリングがある。これらのデーターの後処理には定常的にカルマンフィルターが用いられるがこのカルマンフィルターは通常実時間追尾用途に用いられる。それは追尾を解析するための行列式の取扱いを単純化できるからである。

ミサイル関連の用途：精密追尾システムと距離測定レーダーは飛行計画の試験段階で有用である。ミサイルが規定経路に沿って飛行しているか又はミサイルが異常飛行しているかをモニターする。これらの情報は各種システムの性能評

価及び発展に用いる。飛行後記録データーを処理するソフトウェア及びそれによってミサイルの経路に従って機体位置を求めるのは基本的にこれら飛行データーの内挿による。

他の用途：これらのシステムは大砲及び小型ロケットを含む民用並びに軍用航空機の試験及び兵器の開発に用いられる。工業的には競走用自動車のような事後の結果を評価するためのデーター後処理に使用される。

Figure 12-27:
A mobile phased array missile tracking radar.

図 12-27：移動式ミサイル追尾フェイズドアレーレーダー

外観（生産状態）：精密追尾システムと距離レーダーは遠隔測定装置及び遠隔制御装置の地上局に似ている。図12-17に示すような一般的な皿型レーダーと図12-27に示す平面（皿ではない）が特徴であるフェイズドアレーレーダーがある。図12-28のような望遠鏡に似た光学装置も使用される。大型の機械作動双眼鏡を図12-29、12-30、光学装置に似たレーダー追尾システムを図12-31に示す。

Photo Credit: Corbis

Figure 12-28:
An optical missile tracking telescope.

図 12-28：光学的ミサイル追尾望遠鏡

Photo Credit: Corbis

Figure 12-29: An optical missile tracking system.

図 12-29：光学ミサイル追尾システム

Photo Credit: Corbis

Figure 12-30:
An optical missile tracking system.

図 12-30：光学ミサイル追尾システム

ロケット又はUAVに搭載される精密追尾システムのハードウェアは一般に小さい電子部品の容器で800～2500立方センチの大きさである。これらは堅牢に覆われ耐環境用に密封され外面に電力用及びアンテナ結合具がつけられている。これらの送信機の唯一の付属品はロケット又はUAVの外表面に取付けられるアンテナ部品である。

Figure 12-31: A mobile laser missile tracking system.

図 12-31：移動式大型レーザーミサイル追尾システム

外観（梱包状態）：電子部品装置は衝撃に敏感なので一般に緩衝された容器で輸送される。時には取扱注意の表示がされる。この装置は一般に湿気及び静電気放電から保護するためにプラスチック容器に密封される。大型のレーダー、光学追尾装置、レーザー追尾装置は分解して木箱で輸送し所定の場所で組立てられる。全ての光学部品は耐環境性の覆で保護される。

カテゴリⅡ～アイテム13

電子計算機

アイテム 1 のシステムに用いるために設計又は改造されたアナログ計算機、デジタル計算機又はデジタル微分解析機で次のいずれかの特性を持つもの。

(a) －45℃以下、+55℃以上の温度範囲で連続使用の定格；又は

(b) 堅牢設計又は”耐放射線”設計されたもの

アイテム 13 の注

アイテム 13 の装置は有人航空機又は人工衛星の一部として又は有人航空機の補修用部品としての妥当な数量の輸出はできる。

製造可能国

カナダ
中国
フランス
ドイツ
インド
イスラエル
イタリア
日本
北朝鮮
ロシア
南アフリカ
韓国
スウェーデン
台湾
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：多くのミサイルには一個以上の電子計算機が用いられ代表的なものは誘導装置、又は集積飛行システムに用いられている。一般に誘導用電子計算機は搭載している照合センサーから速度及び位置を算出する。これらのデーターを使ってミサイルの規定飛行経路と比較して誤差を修正する操舵信号を送る。電子計算機はミサイルの時間照合も行い、適切な飛行時間において推進システムの中断指令及び弾頭の照準指令を出す。任務電子計算機は飛行経路を予めプログラムし実行するのに使用する。

操作方法：搭載されたアナログ又はデジタル計算機はミサイルの運動方程式を急速に積分しミサイルの飛行経路を維持するのに必要な指令の量と時間を算出する。この電子計算機は適正な計算に必要な電気信号を搭載センサーから受取り、予め計画された飛行経路に適合させるためにミサイルの各種システムに指令信号を送る。電子計算機システムの電力はバッテリー（通常28ボルト）でセンサーと制御システムにケーブルで接合する。

ミサイル関連の用途：多くのロケット、UAV、巡航ミサイルには航法及び制御計算並びに慣性測定装置（IMU）データのデジタル集積用に一個以上の堅固な

デジタル電子計算機を持っている。又多くの場合アナログ計算機がIMUジンバルと飛行制御面の安定化用アナログ量の閉回路制御に用いられる。これらの電子計算機は弾道ミサイルの宇宙空間飛行、UAVの高空での機動又は巡航ミサイルが外部搭載され高空において受ける過酷な温度条件でも運用できなければならない。ミサイルには飛行中の振動、衝撃に耐える堅牢な計算機が要求される。ミサイルには核爆発環境でも使用できる耐放射線電子計算機の設計がなされている。

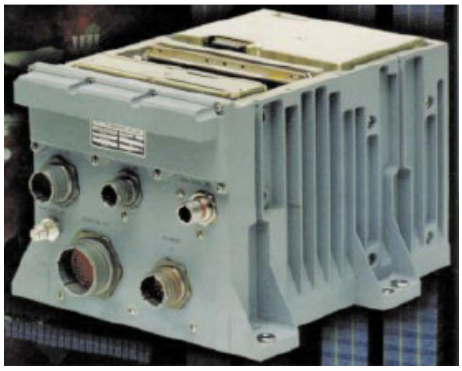


Figure 13-1: A global positioning system (GPS) aided inertial navigation system with integral guidance computer.

図 13-1：集積誘導電子計算機を用いた慣性航法システム用の GPS

他の用途：多くの軍用、民用航空機、戦術ミサイル及び航空機はMTCRで規制された厳しい温度で運用できる堅牢な電子計算機が要求される。放射線帯の中又は近くで運用される長期間の人工衛星や宇宙船にも耐放射線化の要求がされるがこれらの要求はMTCR規制値よりも低い値である。

Photo Credit: LITEF

Figure 13-2: A ruggedized computer for fighters, which is similar to a missile or an UAV computer.

図 13-2：ロケット又は UAV 用電子計算機に類似した戦闘機用堅牢電子計算機

外観（生産状態）：ミサイル及びUAV用の電子計算機の形状は図13-1に示す慣性航法システムと誘導用電子計算機組立てのように一般に高速運用で発生する熱を発散させるための放熱装置を付けた金属箱に収納されている。取外しできるプリント回路基板を用いたロケット及びUAV用計算機と類似の航空機用堅牢電子計算機を図13-2に示す。図13-3に示す耐放射線デジタル信号処理装置は一個のプリント回路基板に組込まれミサイル用途に好適である。これらの組立品の吸熱には水冷器が取付けられることもある。

液体冷却用結合具を取付けた耐放射線電子装置組立てを図13-4に示す。これら組立品の外観は広く民用に使用されている通常の電子部品と同様である。区別きる特徴は（軍用特殊ではない）民用電子部品のように普通のプラスチック製品（チップ）とは反対に金属とセラミックで密封されていることである。

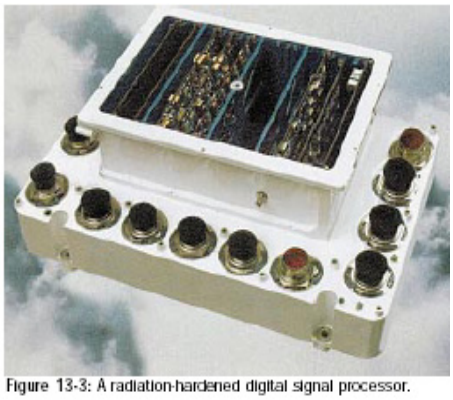


Figure 13-3: A radiation-hardened digital signal processor.

図 13-3：耐放射線デジタル信号処理装置

接続ケーブルの形状は堅牢なシールドケーブルで円形のコネクターが小さなボルトで結合されている。電子部品は外部無線（RF）を防ぐためにファラデーケージに入れられ外圧を防ぐために密封される。この用途は軽量が要求されるためRF遮蔽用に内面を金属被覆した堅牢なプラスチック容器が用いられる。

Photo Credit: The Charles Stark Draper Laboratory, Inc.

Figure 13-4: A radiation-hardened electronics assembly with liquid cooling.

図 13-4：液体冷却装置付きの耐放射線電子組立

外観（梱包状態）：電子計算機組立用及び部品は通常25 kg以下である。これらはプラスチック袋に包まれボール箱に入れ衝撃を防ぐために発泡ゴム又は空気袋包装材を周りに詰め込んで梱包される。箱には静電気敏感装置在中の表示をする。大きな装置は大きなシステムに入れられ25 kgを超える場合は金属又は木箱に梱包される。

カテゴリⅡ～アイテム14

アナログデジタル変換器

アイテム１のシステムに使用できるアナログデジタル変換器で次のいずれかの特性を持つもの；

(a) 堅牢化装置用で軍用規格に適合するように設計されたもの又は

(b) 軍用に設計又は改造されたもの；及び次の形式の一つであるもの

(1) ”耐放射線”又は次の特性を全て持つアナログデジタル変換器用”集積回路”

(i) 二進法でコード化した時の分解能が８ビット以上

(ii) －54℃以下、+125℃以上の温度範囲に作動する定格；及び

(iii) 気密封止

(2) 電気入力型アナログデジタル変換器のプリント配線基板はモジュールで次の特性の全てを持つもの

(i) 二進法でコード化した時の分解能が８ビット以上

(ii) －45℃以下、+55℃以上の温度範囲において作動する定格；及び

(iii) 上記(1) に示す”集積回路”を組込んだもの

製造可能国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
スウェーデン
英国
米国

特性と目的：アナログデジタル変換器（ADCs）は連続的に電圧を”Is”と”Os”のパターンで示すデジタルデーターに変換するアナログ信号変換電子部品である。この変換器はセンサー、加速度計、ジャイロのような各種装置のアナログ出力をデジタル信号処理機（DSPs）と電子計算機のようなデジタル装置で判読する。

操作方法：ADCは最も単純な形式で出力を二進法の”ワード”にした電圧計である。長いワード（一ワード当りのビット数）は入力電圧をより精密に表示することができる。例えば8ビットワードは0から1ボルトの電圧範囲を256に区分した値で表示できる。0に割り当てられた1ワードは255から3.92ミリボルトの増加を示す。3.92ミリボルトの増加はプラスマイナス1.96ミリボルト又は0.196パーセントの理論的精度である。ADCの周波数を高くすると高周波の入力信号に変換するのでADCは入力電圧を急速に変換でき出力のワードを最新のものにするこ

とができる。製造者は変換用のいくつかの回路設計のうちの一つを使用する。多くのADC は入出力を線形に設計する。しかしより精密な形態では入力電圧は予め得られたアナログ装置からADCへ用いた補正データーに従ってデジタル値で表示される。この表示はアナログ測定の非線型部をADCが補正できる。

ミサイル関連の用途：デジタル計算機を用いた全てのミサイルはADCが必要である。ADCは先に示した温度範囲で作動できる必要があり、大気圏外を飛行する弾道弾用は気密封止が必要である。

他の用途：ADCはすべての航空機、自動車の電気点火システム、エンジンセンサー用に通常の堅牢部品として広範に使用されている。その他民用途としてはセンサーシステム、電子カメラ、ラジオに用いられている。長期間用の人工衛星や宇宙船で放射線帯の中又はその近くのものは過酷な温度でも運用ができる耐放射線ADCが要求される。しかし宇宙用途の要求はMTCR規制のADC仕様よりも約5倍低い値である。

Figure 14-1: The military-grade (top) and commercial-grade (bottom) analogue-to-digital converters appear identical except for part numbers; pin styles are optional to both.

図 14-1：軍用級（上）、民用級（下）アナログデジタル変換器。製品番号以外の外観は類似している。ピンの形は両方とも任意である。

外観（生産状態）：軍用ADCは苛酷な環境でも使用できまたセンサーからの高速データに伴う熱を逃散させるために気密密止した金属容器に入れられる。主な金属としてアルミニウムがADCボードの枠、構造及び吸熱に用いられる。ADCは一辺が数cmから0.3mで質量は100gから25kgである。この梱包の密度はアルミニウムの約1/3である。集合されたADC組立ては広範の電子部品で構成され民用のものと容易に区別できない。ADCは単体の電子部品として作られ他の軍用電子部品と類似している。同様な軍用及び民用級の単体を図14-1に示す。これらの外観の違いは部品番号だけである。耐放射線ADCは単一の集積回路（IC）に組込まれ弾道弾の使用に適している。図14-2、14-3に示す。

これらの部品はミサイルの環境に堅牢でかつ柔軟に対応できるように特別に設計されている。ADCの回路基板はDPSに類似しているが細長いICや個別のバッハーアンプ増幅器、信号調整器（フィルター、電圧制御等）回路がある。結果としてADC回路基板の大部分は個別の部品（抵抗器、コンデンサー、ダイオード、操作用増幅器等）で作られている。集積回路基板は吸熱と導電用の銅を施したエポキシガラス繊維である。電子部品は特性の金属箱（一般に銅ニッケル）に入れられアルミニウム又は金線とシリコン基板で構成している。

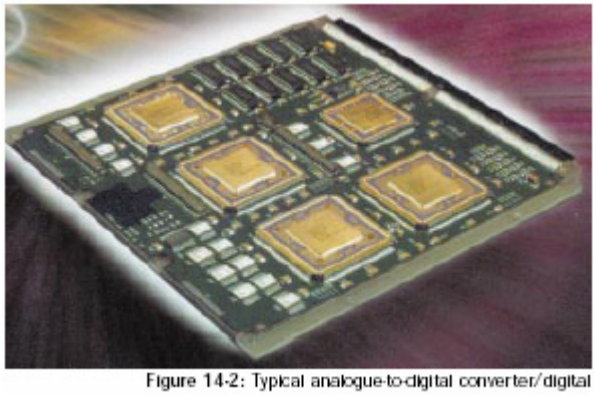


Figure 14-2: Typical analogue-to-digital converter/digital signal processor board.

図 14-2：代表的なアナログデジタル変換器/デジタル信号処理器の盤

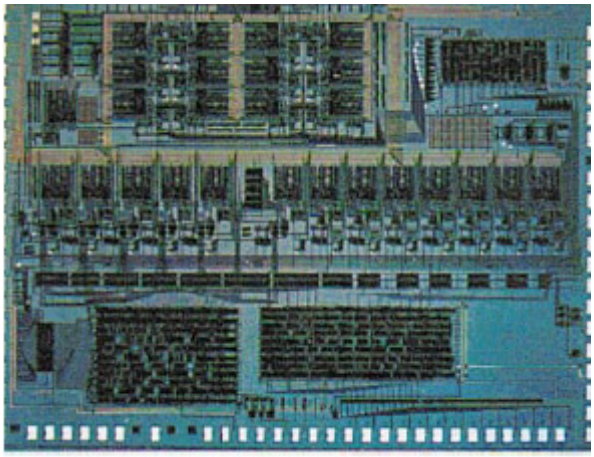


Figure 14-3: A radiation hardened 11-bit analogue-to-digital converter.

図 14-3:耐放射線 11 ビットアナログデジタル変換器

外観（梱包状態）：ADC集積回路組立部品と構成部品は25 kg以下である。これらはプラスチック箱に入れられ静電気敏感装置と表示されボール箱の中に入れ、衝撃保護のために発泡ゴム又は空気袋包装材を入れて梱包される。

カテゴリⅡ～アイテム15

試験装置

アイテム１及びアイテム２のシステムに使用することができる試験設備及び試験装置で次に示すもの；及びその為に特に設計されたソフトウェア：

(a) 振動試験システム及びその部分品で次に示すもの

(1) フィードバック又は閉ループ制御技術を用い、デジタル制御器を組込んだ振動試験システムであり 20 ヘルツから 2000 ヘルツの範囲で 10gRMS（二乗平均加速度 10）以上の加速度で加振でき、振動台が空の状態で 50 キロニュートン（11,250 ポンド）以上の力を加えることができるもの

(2) 振動試験のために特に設計されたソフトウェアで５キロヘルツを超える実時間帯域幅を持ち、上記(1) の振動試験システムに使用できるように設計されたデジタル制御器

(3) 増幅器の有無に拘わらず振動台が空の状態で加振力が 50 キロニュートン以上の振動発生器（振動ユニット）であり上記(1)の振動試験システムに使用できるもの

(4) 完全な振動システムの構成をするために複数の振動発生器を接続するために設計された供試体支持構造物及び電子ユニットで振動台が空の状態で加振力が 50 キロニュートン以上で上記(1) の振動試験に使用できるもの

アイテム 15(a) の注；

「デジタル制御」と言う語はデジタルコード化され蓄積された電気信号により機能の一部又は全部が自動制御される装置を示す；

製造可能国
フランス
ドイツ
ロシア
英国
米国

特性と目的：この形式の振動試験システムは大型で強力でありロケット及び無人航空機が発進、各段の切離し、及び巡航時に受ける飛行振動及び衝撃を模擬するものである。ミサイル及びその構成システムは必要な柔軟性、振動及び衝撃の感受性を求めるために試験される。この情報は飛行に適するようにミサイル設計、システム及びサブシステム及び部品の品質向上のために使用される。或時は接続不良や欠陥部品を検出されるために品質保証にも使用される。代表的な振動試験シ

ステムは振動加速ユニット又は加振器、これに取付けられる振動試験品、電力増幅器、その他振動器を動かす動力源、要求振動周波数、振幅の試験計画に従った電力増幅器への指令と制御並びに加振器や増幅器用の空気又は液体冷却システムから成る。

操作方法：振動試験システムは機械的な加振器を用いる。音響スピーカーと同様な原理で電磁力で操作する。しかし重量供試体を動かすためスピーカーコーンより大型である。デジタル制御器は20～2000ヘルツの範囲で周波数と振幅を制御し規定された複雑な振動パターンを制御する。これらのパターンは任務飛行中に受ける振動周波数や振幅及び爆発や衝撃を模擬して設計される。これらの制御器からの出力は加振器を動かすために強く増幅される。水圧又は空気圧振動システムはMTCRの振動試験用に可能であるが性能仕様に適合するものは一般に無い。二つ以上の加振器の電動子が要求振動水準を得るために試験装置支持構造で互いに結合される。これらの構造物は強く軽くなければならない。電子ユニットはこの複数の加振器を同期して制御しなければならない。これらはデジタル制御器から指令を受けると各加振器を動かすために複数の増幅器に中継される。

ミサイル関連の用途：全てのミサイルと無人航空機は輸送及び飛行中に振動と衝撃を受ける。もし振動と衝撃値が予め分かっていたら安全率を適正に下げることができるので飛行体はより強く、より軽くすることができる。この装置は高額な試験飛行の失敗を避ける助けにもなる。

他の用途：振動試験システムは航空部品のような軍用及び民用装置にも用いられる。振動試験は多くの消費物品にも行われる。しかしMTCR規制の振動試験システムはそれらが必要とするものよりも強力で高価である。

外観（生産状態）：MTCR規制の振動システムは大きな装置で床面積は約 3ｍ 四方である。部品の詳細を次に示す。

- デジタル制御器と特に設計された振動試験ソフトウェア；デジタル制御器はパソコン（PC）のシステムユニットと同様の寸法である。幅0.5ｍ、奥行き0.5

m、高さ0.25 m、或場合の制御器は電力増幅器の上に設置されるほど小さい電子機器である。その他図15-1に示すように電力増幅器と結合しモニターと標準的なインターフェイスカードを備えたデスクトップ計算機もある。振動試験システムの製造業者は現在PCベースのソフトウェアを提示しており試験システム制御、データー記録及びデーター解析の機能が組込まれている。

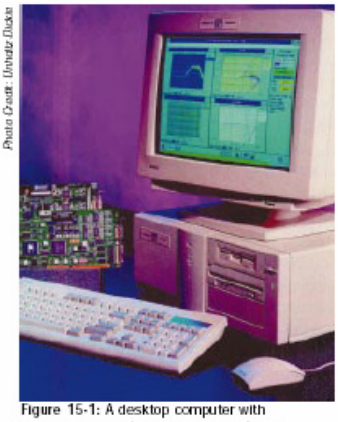


Figure 15-1: A desktop computer with customized interface cards and software.

図 15-1：標準的インターフェイスカードとソフトウェアを備えたデスクトップ計算機

Figure 15-2: A thruster being prepared to vibration-test a missile.

図 15-2：ミサイルの振動試験用加振器

Figure 15-3:
A missile vibration test facility and thruster.

図 15-3：ミサイルの振動試験装置と加振器

- 加振器（振動ユニット）；MTCRで規制された加振器は一般に非常に重くU字型で床に固定するために鋳鉄の土台と厚いフランジでできている。一辺が約1.3mで質量は数トンである。円管又はドラム缶状の鉄製加振器枠は約1mの直径及び高さで土台に垂直に設置されている。この垂直面は一般に回転でき（回転軸）加振方向を変えるために加振枠が回転できるようになっている。巡航ミサイルの振動試験用に作られた垂直位置の加振器を図15-2に示す。気象観測用ロケット試験用加振器を図15-3に示す。

供試体を加振する加振器は加振器枠の一端に挿入された丸い金属製電動子板がある。電動子には供試体を取付けるためのボルト穴が空けられている。電動子板と加振器枠の間には内部の可動軸を覆うためにゴム製隔膜が用いられる。図15-4は大きな供試体を取付けるために上部を広げた加振器を示す。加振器システムには附属品として滑り台があり質量を最小にするためにマグネシウム合金で作られている。滑り台の土台は花崗岩で作られ供試体の質量を支えるために油膜か空気ベアリングを用いる。滑り台を動かすには加振器は電動子が水平運動するように軸を回転させる。電動子は滑り台の一端に取り付け供試体の水平軸を振動させる。このような滑り台装置は加振装置と同じ大きさと質量でありいずれも図15-5のように通常の土台に取付けられる。

Figure 15-4: A thruster with an expanded head.

図 15-4：上部を広げた加振器

Figure 15-5: Thruster (in rear) connected to a slip table on common base.

図 15-5：通常の土台の上の滑り台に取付けられた加振器（後方にある）

Figure 15-6:
A power amplifier and its associated thruster.

図 15-6：電力増幅器と構成する加振器

- 電力増幅器；MTCR で規制された電動振動試験システムの電力増幅器は図15-6 に示すように電力制御装置の一つ以上の枠（各幅0.5 m、奥行き0.5 m、高さ2 m）からできている。このシステムを動かすには約60～80 kwの電気入力が必要である。大きな電力を通すために電力供給には太い電線が必要であり通常の電線やプラグは使用できない。

- 冷却；加振器と電力増幅器の入力の半分は熱として消失するので空気又は冷却剤循環による冷却が必要である。代表的に用いられる空気冷却ファンは1.5 m×0.5 m×0.8 mの大きさで質量は200～250 kgである。冷却水は試験システムを通り冷却塔又は電気ファンを備えた冷却器を循環する。液体冷却システムはいずれも空気冷却ファンと同等の大きさである。その他の方法として冷却システムに水を単純に連続的に流し排水させることもある。

- 支持構造：振動試験装置に用いられる支持構造装置は特注品で供試体にもよるが大きさは3 m×3 m×3 m以上、質量は5～10トン以上である。複数加振器と結合して完全な加振システムを作るために設計された電子装置は通常のパソコンが複数用いられ個別の加振器を各々制御するための特別なインターフェイスカードが使われ一個以上の特注の電子装置に収納される。振動試験における最近の傾向は低価格で柔軟性があるためにPCベースのシステムが使用される。特化された振動システム制御のインターフェイスカードはPC中に組込まれておりMTCRで規制されたPCとは外観検査では明確にできない。

外観（梱包状態）：システム制御器を除きパソコンと同じ大きさであり標準的なパソコン包装で輸送用に梱包される。MTCRに関係する振動試験の装置は大きく重量なので非常に頑丈な構造をした特注の木箱に梱包される。

(b) 風速 0.9 マッハ以上の風洞

製造可能国
カナダ
中国
フランス
ドイツ
日本
オランダ
ロシア
イス
英国
米国

特性と目的：風洞は大きな構造物で試験部にロケット又は無人航空機の模型を置き空気を循環させるか吹流すものである。風洞は大気中の飛行を模擬して機体形状設計用の空気力学的性能を測定するのに用いる。測定部の装置は機体の揚力、抗力、安定性、制御性、エンジンの空気取り入口、出口の形状、熱影響及び赤外線像のデーターを収集する。風洞は連続流れ（密閉循環）又は吹流し（ショックチューブ）型があり各々長時間又は短時間の空気力学的パラメーターを測定する。

操作方法：連続流風洞は大きな電動ファンを用いて入り口から空気を吸い込みスロート部又は試験部に所要のマッハ数を得る。空気は試験部を通過すると噴出部を経てファンに遡り再び試験部を通過して連続流を形成する。吹流し風洞は空気その他の気体を大きな高圧槽に溜め制御弁を開けて風洞入り口コーン及び試験部に流し噴出口から大気中に放出する。

ミサイル関連の用途：0.9マッハ以上の風洞はロケット、超音速無人航空機及び再突入機の試験に用いる。マッハ3以上の高速飛行の熱伝達試験も行われる。長距離弾道弾の試験用にマッハ5以上の高熱量、連続流風洞又はショックチューブ風洞が必要となる。

Figure 15-7: The exterior of a large wind tunnel showing the closed-loop circuit for continuous airflow.

図 15-7：連続空気流用の密閉大型循環風洞の外観

他の用途：風洞は超音速航空機の設計に用いられる。

外観（生産状態）：風洞は一般に大きな施設で幾つかの建物からなり、試験部、圧縮機、データー取得システム、動力源からなる。フルサイズミサイルの試験に適した連続流風洞は一般に長さ50～100 m、幅25～50 mで、噴出口の直径は10～15 mである。大型の密閉空気循環型を図15-7に示す。小型モデルを試験するのはより小径である。大型の風洞は一般に水平の楕円形で長さは試験部の10～20倍、幅は5～10倍である。風洞の管状部は円形にするために鉄板を溶接して作り外枠をIビームで支持する。ある種の風洞は図15-8に示すようにノズル部が可変で空気流の性質が変えられる。

Figure 15-8: Exposed adjustable nozzle section of wind tunnel.

図 15-8：風洞の可変ノズル部の内部

試験部は風洞の一つの面にあり大きな出入り口側のために供試体の出し入れ及び試験部の取付けが容易である。超音速流のミサイルに対する流れを観測するために試験部に窓が取付けられ特別なシュリーレン写真記録装置(又は流れの可視化装置)が設置される。風洞試験試験部の代表的な供試体を図15-9、15-10に示す。試験部には一般にデータ収集制御装置があり供試体の取付け位置決め、取外しが行われる。フルサイズのミサイルを密閉循環風洞で試験すればより正確な結果が得られるが飛行速度用の大量の空気が必要となり高出力（20万馬力級）が要求される。

Figure 15-9: Test objects in test section of a hypersonic wind tunnel.

図 15-9：超音速風洞試験部の供試体

Figure 15-10: Test object under inspection in test section of a 5-meter transonic wind tunnel.

図 15-10：5m 遷音速風洞試験部における供試体の点検

吹流し風洞は空気又は他の気体を高圧大型タンク又はシリンダーで貯蔵する。空気噴出口は大型弁又はダイヤフラムで密封しタンクと風洞入り口と試験部は導管で継ぐ。風洞の壁は厚い鉄板で作られ高速流による高温を防ぐために表面を被覆する。試験前に大型圧縮機でタンクに空気を貯める。

外観（梱包状態）：風洞及び構成する建物は非常に大きいので部品状態で輸送される。各構成部品の圧縮機用モーター、ファン、変向用翼、試験部及び壁、窓、制御及び装置用パネルは輸送用の木枠又は大型パレットに取付け輸送される。風洞の主な壁は一般に構造材料として輸送され施設場所で組立てられる。

(c) 推力 90 キロニュートン（2 万ポンド）を超える固体又は液体推進薬ロケット又はロケットモーターを試験できる試験台/試験スタンド又は三軸方向の推力成分を同時に測定できるもの。

製造可能国
中国
ドイツ
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的：90 キロニュートンを超える推力のロケットシステム、固体ロケットモーター及び液体ロケットエンジンを試験する試験台又は試験スタンドは大きく頑強な構造である。重要なパラメーターである性能データーを得るために全出力で作動させる。各試験項目のデーターは設計の開発と設計の完全性及び性能を支持する。液体ロケットエンジンは出荷前の性能保証に試験スタンドで試験することもある。

操作方法：供試体を試験スタンド又は試験台に設置する。計測器を取付け点検する。試験地域から人を排除しロケットの全出力作動中にデーターを収集する。固体ロケットモーターは一般に水平で液体ロケットエンジンは垂直で試験する。計測器は圧力、推進薬流量、推力、作動時間、振動、変位及び温度を測定する。固体推進薬ロケットモーターは燃焼終了まで作動し続ける。一方液体ロケトエンジン及びハイブリッドモーターは推力調整や中断ができる。試験後も調査は続けられデーターが解析される。

ミサイル関連の用途：試験台及びスタンドはミサイルプログラムの開発段階における基本的な装置である。液体ロケットエンジン試験スタンドはターボポンプのようなエンジン部品の全出力試験にも使用される。

外観（生産状態）：水平固体ロケットモーター試験スタンドは架台、推力受、ロードセル（推力測定器）、推力受台及び計器で構成される。固体ロケットモーターは初めに可動架台に水平に取付け固定される。大型のモーターは枠を取付けた後推力受を取付ける。小型のモーターは直接推力受を取付ける。推力受は三軸推力成分を測定するロードセルに合わされる。ロードセルは推力受台と呼ばれる大きな垂直コンクリートブロックか金属フレームに取付けられる。このブロックはモーター燃焼中の前方推力を受止める。ロードセルに接続された装置は記録装置が設置された計側室にデーターを送信する。全ての装置は一般に屋外であるが一部又は全部がコンクリート建物又は側溝に収納される。図 15-11、15-12に示す。

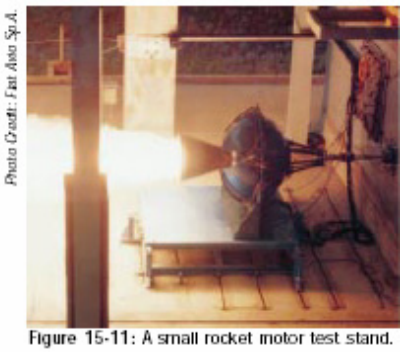


Figure 15-11: A small rocket motor test stand.

図 15-11：小型ロケットモーター試験スタンド

Figure 15-12: An outdoor, horizontal solid rocket motor test stand showing the dolly and frame holding the motor

図 15-12：架台とモーター支持枠を示した屋外水平固体ロケットモーター試験スタンド

大抵の液体ロケットエンジン用の垂直試験スタンドは鉄ビームと梁で作られた大きな移動クレーン構造である。液体ロケットエンジンは複数のロードセルを取付けた三軸推力成分を測定しデーターは記録用に計側室に送られる。推進薬を運ぶ移動タンク、火炎を防ぐ水流壁、試験スタンドから排気の方向付けをするコンクリートエプロンも施設の構成物である。図15-13、15-14に二つの異なった試験スタンドの形態を示す。15-14で示すスタンドのミサイル試験区画の拡大図を図15-15に示す。

Figure 15-13: A single liquid rocket engine vertical test stand.

図 15-13: 単一の液体ロケットエンジン垂直試験スタンド

Figure 15-14: A liquid rocket engine test stand with three testing bays. The bay on the right is for testing turbopumps.

図 15-14：三つの試験区画を持った液体ロケットエンジン試験スタンド

Figure 15-15: Close-up of the missile testing bay in Figure 15-14 showing the engine, feed lines, and run tanks.

図 15-15：図 15-14 のミサイル試験区画の拡大図でエンジン、供給ライン、移動タンクを示す。

外観（梱包状態）：ロケットの試験架台及びスタンドは稀には組立て構造で輸送される。多くは材料及び構成物を別々に輸送し試験場で組立てられる。設計図に基づき構成、組立て指示書に従って構成材用及び装置を正確に組立てる。

(d) 次に示す飛行条件を模擬することができる環境試験室及び無響室

(1) 高度 1,500 m 以上；又は

(2) 少なくとも－50℃から+125℃の温度；又は

(3) 20 ヘルツ以上 2000 ヘルツの間で 10gRMS（二乗平均加速度 10）以上の振動環境で 5 キロニュートン以上の力が印加できる環境試験室；又は

(4) 全音圧レベル 140 デシベル以上（2×10^{-5} ニュートン/m^2 を基準音圧とする）の音響環境又は 4 キロワット以上の定格出力の無響室

製造可能国
カナダ
中国
フランス
ドイツ
インド
イスラエル
イタリア
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的:全出力飛行における応答を測定するために構成品、サブシステム、完成機体に低圧力、高低温度、振動及び音響を与える地上における環境試験である。データーは設計の適否に用い、それにより飛行可能を確認する。

操作方法:高々度の模擬は供試体を耐圧室に入れて密封し真空ポンプで減圧にする。飛行温度の模擬は加熱機と冷凍機を備えた断熱室の中で模擬される。MTCR規制の温度室は規定の振動又は音響環境が模擬されている。振動試験装置は規定水準以上の振幅、周波数のスペクトルが出せる電動台で全飛行中の装置、サブシステム又はシステムの振動環境を模擬している。音響試験室は電気的又は電磁的な組合せで音響スピーカーのようなホーンを動かしロケットモーターの排気及び高速空気力学的飛行で起きる音圧のスペクトルを作る。

ミサイル関連の用途：高度試験はエンジン性能、熱伝達、高空点火、ノズルの開発及び推進薬の動的現象を研究するのに用いる。温度―振動、温度―音響の複合試験はミサイル飛行の技術と品質を開発するためにミサイルのハードウェアを高精度の飛行環境で試験するのに用いる。この試験は基本的なミサイルプログラムには必要ないが先進的な開発に必要である。この装置は飛行試験プロ

グラムのコストを下げるがこの装置、特に大きな環境試験室は非常に高価である。

他の用途：高々度、及び温度－振動、温度－音響試験は通常的に人工衛星、戦術ミサイル及び航空機部品に使用される。

外観（生産状態）：圧力環境室は堅固で一般に金属製で一気圧（安全率加算）の外圧に耐えるために気密な円管状室であり端面はふくらみ又は半球状である。多くの場合窓部に厚いガラス又はアクリルが使われている。一端には供試体出入れ用の板か扉がついている。室内を減圧にするために大型の真空ポンプが結合されている。大きさは試験される供試体で決まる。したがって一辺は1m以下から数数十mとなる。これらは各種建物、ポンプ、動力、データー収集装置、操作装置で構成される。ロケットモーター試験に適した二種類の圧力室を図15-16、15-18に示す。

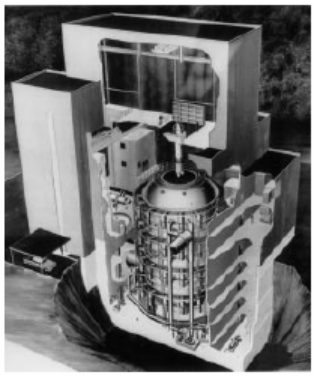


Figure 15-16: A large environmental chamber for simulating high altitude.

図 15-16：高高度を模擬する大型環境試験室

Figure 15-17: A solid rocket motor being tested at simulated altitude.

図 15-17:高度模擬試験中の固体ロケットモーター

Figure 15-18: A different approach to an altitude test stand. The test object is shown in red inside the pressure vessel.

図 15-18：高度試験スタンドの別な方法

図15-17は15-16に示したのと同様な高度模擬試験を行う固体ロケットモーター内部を示す。高度33,000 m以上を模擬できる大型固体ロケットモーター試験用大型施設を図15-19 に示す。この施設の試験設備の一面を図15-20 に示す。

Figure 15-19: A large rocket test facility capable of simultated altitudes of up to 33,000 m.

図 15-19：高度 33,000m 以上を模擬できる大型ロケット試験設備

Figure 15-20: The test cell of the facility shown in Figure 15-19.

図 15-20:図 15-19 に示した施設の試験設備

温度試験槽は加熱と冷却装置を備えた断熱槽又は室である。MTCRに規制された温度槽は飛行中に遭遇する各種温度における振動又は音響試験装置を備えている。振動試験用の温度槽は供試体を振動させる強力な装置を備える。この装置は加振器又は振動器であり丸い平らなテーブルの試験体を取付ける場所に予め取付け用穴又は帯がついている。テーブルの可動には円管上の可変速電動モーターが使用されている。供試体の大きさによってこのテーブルの質量は10～数千キログラムである。5キロニュートン以上を印加できるテーブルを図15-21に示す。環境試験室はこれらの装置を制御して20～2000ヘルツにおいて10gRMS以上を加え5キロニュートン以上の力を印加し-50℃から+125℃の温度で操作して飛行条件を模擬することができる。図15-22に示す。図15-23は別の複合環境試験装置を示す。

Photo Credit: RMS Dynamic Test Systems

Figure 15-21: A thruster table and its power supply.

図 15-21：加振台とその動力源

Photo Credit: RMS Dynamic Test Systems

Figure 15-22: A controlled environmental chamber with vibration capability.

図 15-22：振動試験ができる制御装置付き環境試験室

音響試験用の温度試験室は壁に音響ホーンを備えた大きな室である。これらのホーンは各自単一音階（一つの周波数で作動）であり寸法は外周開部寸法に依存し、高周波ホーンでは数センチメートル、低周波ホーンでは1mである。音響試験室は荒い波形（楕円形）の柔らかい気泡のある音波吸収材で覆われている。

Figure 15-23: Another vibration and environmental test apparatus configuration.

図 15-23：その他の振動及び音響試験装置の形状

外観（梱包状態）：圧力室の外観は各種の大きさがあるが一般には大きく、使用場所に設置される。MTCRで規制される大きな温度室は設備材料の組立部品状態でパネルで輸送される。組立手順書又は設計計画書は用途を定めるのに役立つ。同様に温度室は一般の冷蔵庫と同様に輸送される。部分的に組上げられた動的試験テーブルは部品を緩衝させて木箱で輸送される。これらの単純な輸送コンテナには特別な取扱表示はつけていない。音響ホーンは金属容器又は木箱で輸送される。これらのホーンの可動ダイヤフラムは敏感な部品なので輸送コンテナには特別な取扱い表示がしてある。

(e) 2メガエレクトロンボルト以上に加速された電子からの”制動放射”によって電磁放射線を発生できる電子加速器及びこれらの電子加速器を用いたシステム

注：上記装置で医療用に特別に設計されたものは含まない

製造可能国
中国
ドイツ
インド
日本
ロシア
英国
米国

特性と目的：MTCR で規制される電子加速器は三つの基本的形式がある。線形高周波加速装置（ライナック）、フラッシュ X 線装置、機械的に荷電させる高静電圧加速器（バンデグラフ型）がある。発生する X 線はミサイル部品（固体ロケットモーターのような）を透過するのでミサイル内部の X 線写真用に主に使用される。高エネルギーX 線のその他の用途は核兵器効果の模擬と爆発及び衝突のような超高速現象の静止 X 線写真がある。

操作方法：最も興味のある電子加速器はライナック型である。この電子加速器は電子の束又は房を高周波発生器により高電圧が印加された間僚を通過させて光速にさせる。この小さな間僚で電子のエネルギーは数百万ボルトにすることができる。この高エネルギー電子束は標的（タングステンのような高密度金属）に衝突させる。標的内で減速された電子はX線を放射させる。この現象は制動放射でドイツ語で”ブレムシュトラング”と呼ばれる。供試体を通過したX線はフィルムに記録されるか電子センサーで増幅され即座にコンピューター画像に表示される。バンデグラフ電子加速器は加硫ゴムベルトを機械的に動かすか絶縁体表面上の磨いた金属粒を絶縁棒でこすることにより大きな静電圧を得ている。静電気発生で得た電子を静止させる標的には直線加速器に用いられるのと同様な金属膜である。フラッシュX線装置は電圧用に多くのコンデンサーを重ね電荷させ急激に放電操作する。ライナックのように発生した電子流を高密度金属に衝突させX線を発生させる。

ミサイル関連の用途：ライナックの最も重要な用途は発生X線を固体ロケットモーターケースの非破壊検査に用いることである。推進薬グレン（形状）の亀裂や空僚を検出しケースとの不完全接合又は断熱材やライニングの不完全接着を検出する。このX線装置はミサイルの構造部品、溶接、ノズル、ターボポンプ部品のような構成品の検査に使用できる。ライナックはミサイルの電子部品、試験装置、耐放射部品の原子核放射効果の研究にも使用される。これには主に大型フラッシュX線装置が使用される。バンデグラフ電子加速器は電子束出力が低い（従って低X線）のでこの用途には一般には用いられない。

他の用途：マイクロ波、電子加速器を用いた高エネルギーX線装置は30 年以上に渡り工業用途に広範囲に使用されてきた。これらの用途は自動車、造船、航空、動力、生産装置における大型鋳造物、溶接がある。殺菌用途に用いる高エネルギーX線装置を図15-24 に示す。この装置は輸送用コンテナ中の密輸又は爆発物を検出する大型安全システムにも使用される。同様な技術が癌治療に用いる装置として使われている。

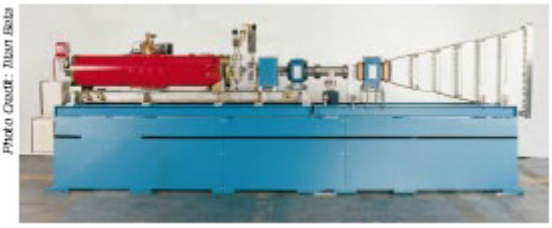


Figure 15-24:
A 10 MeV X-ray machine used for sterilization (not MTCR-controlled).

図 15-24：殺菌に用いる 10 メガ電子ボルト X 線装置（MTCR 規制ではない）

外観（生産状態）：通常最も用いられる2メガボルト以上の電子加速器はライナックで図15-25 に示すように小型で堅牢である。このX線装置は五つの主要構成部品からなる。電子加速器、X線部、高周波増幅器又は変調期、制御コンソール及び水ポンプキャビネットである。図15-25 の箱状の構造には電子加速器とX線部が含まれている。図15-26 は制御コンソールを示す。図15-27 は左側が高周波増幅器、右側が水ポンプキャビネットを示す。

Figure 15-25: Typical linac X-ray system.

図 15-25：代表的ライナック X 線システム

Figure 15-26: A linac control console. Photo Credit: Varian Associates, Inc.

図 15-26：ライナック制御コンソール

Figure 15-27: A linac RF amplifier on the left with the water pump cabinet on the right. Photo Credit: Varian Associates, Inc.

図 15-27：左側 高周波増幅器、右側 水ポンプキャビネットのライナック

X線源はX線部にある。これは矩形の硬質又は半硬質の導波管又はケーブルによって高周波変調器に接合される。X線部の電子加速器部分は管状で長さ方向に沿って反対側は半円形の円盤になっている。この部品は大口径の電磁石の中央にある。電子加速管へ高周波エネルギーを供給する高周波変調器及び増幅器は個別のキャビネットにある。このエネルギーは矩形の導波管で伝えられるが稀には同軸ケーブルが使用される。変調器は電子加速器の性質に従った周波数で用いられる。一般には1～3ギガヘルツである。その他用いられる装置は制御システム及び水冷システムである。これらのシステムは狭い操作温度範囲で電子加速度を保つために制御、冷却される。代表的なX線部、変調器キャビネット、制御コンソールの大きさを表15-1 に示す。

表15-1：代表的なライナックの大きさ

	X線部	変調器キャビネット	制御盤
高さ	0.5 m	1.0 m	0.2 m
幅	0.5 m	0.5 m	0.3 m
奥行	1.0 m	1.0 m	0.3 m
質量	200 kg	300 kg	2 kg

MTCRで規制する電子加速器で発生するX線は高エネルギーのために遮蔽するには厚さ数センチメートルの鉛が必要である。この電子加速器は遮蔽材無しで輸送される。遮蔽材は容易に作ることができ指示書にしたがって設置することができる。遮蔽された建物内で遮蔽しないシステムが設置される。

高エネルギーX線発生に用いられる他の形式の電子加速器の設置は機械的に動かすバンデグラフ型の発生器がある。このシステムは線型加速器よりも大きく設置が難しく一般の放射線撮影には用いられない。これは2メガボルト以上の静電圧を発生できる高電圧供給器と高度に磨かれたニッケル製の電子加速管と制御盤からなる。電力供給及び電子加速管は通常組込み部品である。これらは厚い鋼鉄製の高圧タンクに入れられている。その中には六フッ化硫黄又は純窒素のような高誘電率の気体が数気圧の圧力で入れられている。線形電子加速器は小さいのでX線を照射しながら供試体の周りを回転することができるが一方非常に大きな静電電子加速器は固定されており供試体は必要な相対位置を決めるために移動させる必要がある。代表的なバンデグラフシステムの大きさを表15-2 に示す。

表15-2：代表的バンデグラフシステムの大きさ

	圧力容器	制御盤
長さ	2.5m	0.2m
直径	1.0m	
幅		0.2m
質量	1,200kg	2kg

フラッシュX線装置の大きさはデスクトップ装置から特別な建物を必要とする巨大なシステム迄様々である。固体ロケットモーターの推進薬形状を検査する代表的な装置を図15-28に示す。

Figure 15-28:
A 2.3MeV flash
X-ray unit used for
inspecting solid
rocket motors.

図 15-28：固体ロケットモーター検査に用いる 2.3 メガエレクトロンボルトのフラッシュ X 線装置

外観（梱包状態）：線形電子加速器は木枠又は箱に梱包して輸送する。これらは個別に三つのキャビネットに分けられる。X線部と変調器は一般に同じ製造業者である。冷却システム及び制御システムは別々に購入する。輸送中に変調器が受ける過激な振動や衝撃から保護するために発泡材、発泡スチロール、その他の緩衝材で梱包する。装置にはX線注意、高周波、高電圧の表示がされる。これらのシステムは低エネルギーシステムのものよりX線の透過から人体を遮蔽するのに必要な鉛遮蔽材を一緒に輸送すると高重量となる。

静電加速電子装置はより大きい。高電圧供給及び電子加速管は圧力容器と一緒に輸送する。圧力容器は重量物なのでホークリフトで取扱えるように堅固にして輸送する。これらの装置は輸送の状況によっては好ましくないことがあるので高電圧供給器や電子加速器を支持するために圧力容器との間に更なる梱包材料を詰め込む。

カテゴリⅡ～アイテム16

モデリングと設計ソフトウェア

アイテム１とアイテム２のモデリング、シミュレーション、又はシステムの設計統合用に特に設計されたソフトウェア又は関連して特に設計されたハイブリット（アナログ/デジタル統合）電子計算機

アイテム 16 の注：

このモデリングには特にシステムの空気力学的及び熱力学的解析が含まれる。

製造可能国
オーストラリア
ブラジル
カナダ
中国
フランス
ドイツ
インド
イスラエル
イタリア
日本
ノルウェイ
ロシア
南アフリカ
韓国
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：モデリング、シミュレーション及びデザイン統合設計のツールは電子計算機を用いて設計者がミサイルを作り飛行させることができる。これらのツールを使って多くの設計変更や飛行環境を研究することができるので製造、試験及び実際のハードウェアの再設計が高価となることが避けられる。このモデリングの能力はロケット又は無人航空機（UAV）の開発に必要なコストと時間を大幅に下げることができる。計算機が算出した多くの情報は特に長距離ミサイルにおいて要求性能の設計に重要な役割を示す。ミサイルの設計段階において妥当な性能を得るためにすべてのソフトウェアモデルを使って射程とペイロードのような使命のドレードオフを最適に決定する。

アナログとデジタル成分を結合したハイブリット電子計算機は各々の長所を利用している。これは新しいセンサーであるホーカルプレーンアレーのようにデーター速度が非常に速く信号/ノイズ比が低い用途に有効である。これらの条件はデジタル計算機だけでは重荷である。デジタル計算機ではデーターの流れを常に保持することはできず、低い信号強度ではデジタル装置は１又は０を明確に表示できない。アナログではデーターを数値化する前にセンサー出力を集めて操作することができる。

操作方法：多くのミサイル設計ソフトウェアモデルはミサイル運用時の外形状

を表示することができる。最近の空気力学モデルはミサイルの内外面の気流を非常に正確に扱うことができる。又ミサイル形状を評価し設計することができる。熱力学的モデルは摩擦熱と化学反応を推定する。ロケットの噴射及び熱保護、ミサイルの重要構成部分への熱の流れなどである。ミサイル構造設計に有限要素モデルを用いるのは今や常識でこのモデルは誘導装置のハードウェアとミサイル制御の試験性能を結合するのに用いる。出力された構造の一例を図 16-1 に示す。

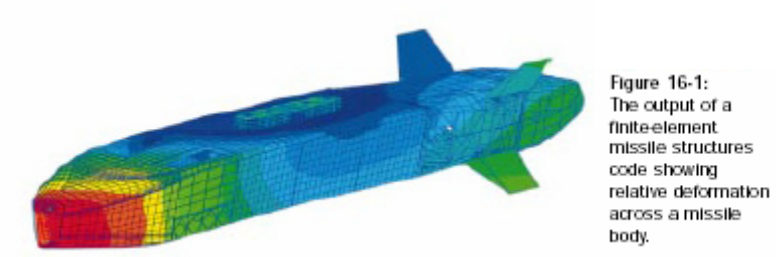


図 16-1：有限要素法で出力されたミサイルの構造でミサイルの胴に沿ってやや変形しているのを示す。

一度設計されるとシステムのハードウェアはハードウェアを組込んだループシミュレーターで繰返し試験が行われる。これらのシミュレーターは試験燃焼シミュレーションにおいてロケットノズル上に機械的に接合し正確に動作させること及び誘導制御のように複雑なサブシステムの応答を精密に測定するために実験室で組込まれる。

ミサイル関連の用途：ミサイル設計ソフトウェアは設計の初期段階で用いられる。全体形状、推力値、空気力学的飛行負荷、構造要求、熱遮蔽要求及び誘導制御要求の設計概念又はモデルの候補設計を決める。これらのモデルに基づき、設計されたサブシステムのハードウェアはソフトウェアループのシミュレーションで性能試験されその能力の正当性を確認し、更なる設計仕様に備えるためにモデルの刷新が行われる。実飛行試験の前にこれらの設計仕様モデルは計算機と接続されロケット又は UAV システムの飛行中を表現し設計性能を確認する。このモデリングは高価な繰り返し飛行試験の必要性を大幅に減じることができる。

他の用途：ロケットシステム又は UAV 設計に用いられる多くの基本的なソフトウェアモデルは民用に一般的に使用されている。一般的に構造モデルの

NASTRAN はトラックの設計や橋の構築に用いられる。熱力学的コードの SINDA は人工衛星や動力プラントの設計に用いられる。飛行運動計算機はパイロットの訓練や飛行シミュレーション等広い用途がある。

外観（生産状態）: ミサイル設計ソフトウェアは外観では民用ソフトウェアと区別ができない。これらは同一のコンピューターディススク又は CD-ROM 等に保存されている。ミサイル用のアナログ/ハイブリット計算機は一般的な電子機器であり食パン箱よりも小さい。飛行運動用計算機は民用の電子機器のラックであるキャビネットに入っている。高精度が要求されるミサイル用のハードウェアを組込んだループシミュレーターのテストベットを図 16-2 に示す。その他ミサイル用のソフトウェアと特定の飛行運動もデル用純デジタルリアルタイム計算機（飛行計算機）を図 16-2 の下部に示す。リアルタイムモデルはループ状の試験用ハードウェア部品に置換えて用いることができる。

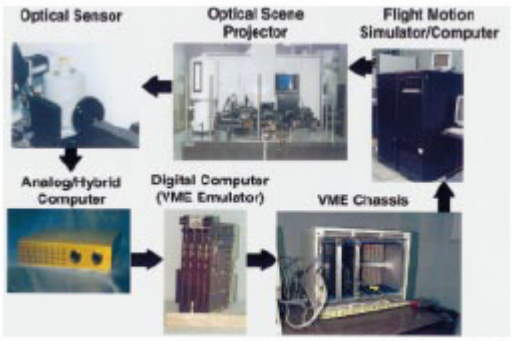


Figure 16-2: Hardware-in-the-loop missile hardware simulation.

図 16-2：ミサイルのハードウェアを組込んだループシミュレーション

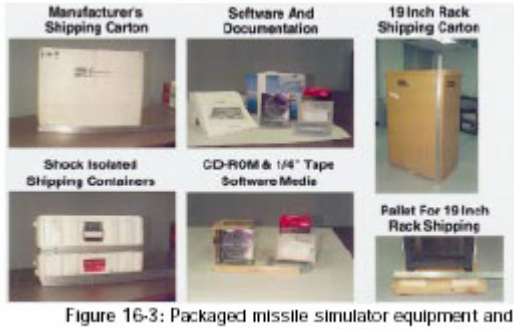


Figure 16-3: Packaged missile simulator equipment and software appearance.

図 16-3：梱包されたミサイルシミュレーター装置とソフトウェアの外観

外観（梱包状態）: 代表的なミサイルシミュレーション及びソフトウェア試験装置を図 16-3 に示す。アナログ/ハイブリット計算機のような普通の電子部品は輸送に敏感な装置やコンピューターモニターに用いるトランクコンテナのような各種の方法で梱包される。飛行運動計算機は一般に他の電子機器と同様に輸送される。飛行シミュレーターハードウェア、モーションテーブルは輸送用の木箱に梱包される。モデルとリアルタイムソフトウェアは他のソフトウェア製品と同様に小さく梱包される（新品の場合）か、無表示の標準的メディアであるフロッピーディスク、CD-ROM 又は 1/4 インチ磁気テープカートリッジの状態でボール箱に梱包される。

その他の情報：工業的な標準バスであるバーチャルマシンヨーロッパ、マルチバス及びフューチャーバス＋を基本にした高速デジタル計算機を用いることはミサイルの実時間飛行ソフトウェアの開発に妥当な手段である。これらの民用標準は実時間ミサイル性能シミュレーションを行うのに十分な速さである。飛行運動計算機は民用計算機を数台用いたものでありミサイルソフトウェアの開発及び試験にこぞって使用される。飛行運動計算機はシミュレーションの制御及び飛行性能データーの記録ができる特別な操作システムを備えている。

カテゴリⅡ～アイテム 17

ステルス

観測されるレーダー波の反射、紫外線/赤外線の認識及び音響認識を減少させる材料、装置及び特に設計されたソフトウェア（ステルス技術）でアイテム 1 又はアイテム 2 に使用できるもの。例。

(a) レーダー波反射性能を減少させるために特に設計された構造材料及び被覆物

(b) マイクロ波の反射又は放射性、赤外線又は紫外線スペクトルを減少又は調整するために特に設計された被覆物（塗料を含む）但し人工衛星用の熱制御用に限り除外する。

製造可能国
ブラジル
中国
フランス
ドイツ
イスラエル
イタリア
日本
オランダ
ロシア
南アフリカ
スウェーデン
台湾
英国
米国

特性と目的：ミサイルの検知及び破壊から保護するに必要な認識性の減少は技術の発展に依存する。新しい機体設計の最初の目標は認識性の減少である。この技術は一般に”ステルス”技術と呼ばれている。反射及び放射を減少又は調整するには注意深く形状を設計し特別な材料を使用することで行われる。その他装置としては妨害の少ないレーダーを使用する。これらは検出されるのを難しくするのが目的である。

操作方法：放射及び反射は音響又は電磁波の性質である。放射は周波数変動、振動分離、遮蔽、覆い、方向性、減衰など広い分野の技術で最低化している。電磁放射及び反射はマイクロ波（レーダー)、赤外線（IR)、可視、紫外帯等多くの周波数帯で発生する。放射現象は周波数内、外で大きく変わるのでスペクトラムを通して異なった方法が用いられる。放射と反射は直線的に行われ振幅の減衰、応答周波数の変動があるので形状及び材料を注意深く選択する。これらの減少は形状、材料、または放射、反射、吸収を制御する装置及び第二の表面（遮蔽材及び反射材の付加）によって行われる。これらの技術又は装置は観測者から目標の真の形を隠すか変装させるので機体を或角度から短時間のみ検出させ、検知及び標準を遅らせるか避けることができる。

ミサイル関連の用途：ステルス技術は弾道弾、無人航空機（UAV)、巡航ミサイ

ル及びこれらのペイロードの探知、追尾、検出及び防御兵器システムによる照準をより困難にするために使用される。ミサイルの多くの設計要素は基本的な形状、構造部品、表面、リーディングエッジ、空気取入口、開口部などにステルス技術が使用される。

他の用途：認識制御に使用される材料の多くは元来軍用機用に開発されたもので固定翼、可動翼の両方に使用されている。この材料及び処理技術の応用例は艦船、潜水艦及び地上戦闘車輌に用いられている。放射制御材料技術は人工衛星の温度制御にも用いられている。いくつかの装置は通信装置の探知を減少させるために用いることもできる。民用途としては低価格、低性能材料が電磁干渉や太陽熱の減衰に用いられる。

外観（生産状態）:認識を減少させる材料及び処理は次に示すものであるがこれに限られたものではない。

- 二種類の導電材がある：長さ 2～6 mm の小さなウイスカー状で炭素、金属又はガラス繊維に導電材を被覆したもの、及び粒子に導電材を被覆した着色した砂のようなものがある。

- 導電性インク又は塗料を含んだスプレーで一般に銀、銅、亜鉛、青銅、金を成分に含む。これらの色は黒、金属性灰色、銅又は青銅色又は金色である。

- 密封又は穴の空いた小さな発泡体をインク又は塗料に混ぜ､塗布又は充填される。これらの発泡体は可撓性の発泡ゴムシート又は空調フィルターに類似している。これらは単層又は多層に接着されている。接地面には金属塗料、金属シート（アルミニウムホイル）又は金属充填プラスチック（フィルム）又は見えないインクが塗布されている。或る製造業者はこれら発泡体の前面に”前面”と表示しているか接地面が不明の場合は製造番号で表示している。或る発泡体は剛性を高くし構造性を高めるために複合材料を添加している。四種の発泡体を図 17-1 に示す。

Figure 17-1: Four radar absorbing material foams, clockwise from upper left: low-dielectric foam (epoxy); lightweight lossy foam (urethane); thermoplastic foam (polyetherimide); and sprayable lightweight foam (urethane).

図 17-1：四種のレーダー波吸収発泡体、左上時計回りで低誘電率発泡体（エポキシ）、軽量損失発泡体（ウレタン）、熱可塑性プラスチック発泡体（ポリイミド）、吹付け可能の軽量発泡体（ウレタン）

- 機体に用いる磁気レーダー波吸収材（MAGRAM）の表面被覆、端部成型、または間隙充填に用いる非常に細かい磁鉄又はフェライト粒子がゴム、塗料、プラスチック樹脂結合剤などに添加されている。民用に使用されているシリコン樹脂を用いた例を図 17-2 に示す。これらはスプレー、シート、成型、機械加工、パテとして用いられる。MAGRAM の色は使用結合剤、磁性材粒子本来の色の薄灰色から黒に近いが他の理由で加えられる色素（視認欺瞞又は製造/保守用記号）のために殆どの色が可能である。薄いプラスチックフィルム又は紙で記号表示又は表面清浄処理を保持するためにシートの片面又は両面を被覆する。シートの厚さはミリメートル以下から数センチメートルの範囲である。これの密度は鉄の約 50～70％である。

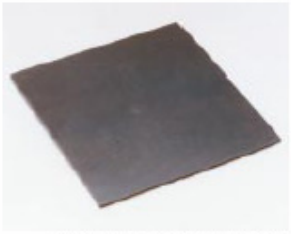


Figure 17-2: A sample of a thin MAGRAM silicone resin sheet.

図 17-2：薄い MAGRAN シリコン樹脂シートの見本

- 抵抗カード（R-カード）は導電インク、塗料、又は非常に薄い金属フィルムで均一に被覆された繊維紙か非常に薄いプラスチックシートでできている。被覆物の表面抵抗は均一か、又は二方向で変化している。金属で被覆されたものは用いた金属とその厚さによって色は変わるが通常黒、黄、緑、金色である。カプトン R-カードを図 17-3 に示す。

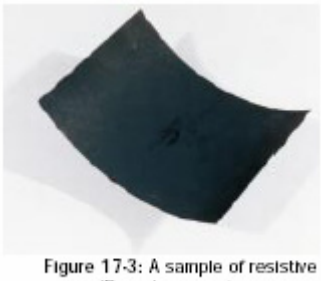


Figure 17-3: A sample of resistive card (R-card) made of metallized Kapton.

図 17-3：金属被覆したカプトン製の抵抗カード(R-カード)の見本

- セラミックスプレーで被覆されたタイルは導電性充填剤又は磁鉄粒子を多量に加えたセラミックを吹付け焼成したものである。その色は濃灰色から黒である。用いた充填剤と表面艶出しの使用によって表面の手触りは平滑からザラ付きを示す。吹付け被覆の厚さは数ミリメートルから 10cm である。

- 電波吸収ハニカムは軽量構造で一般にセル開口部の直径は 3~12mm、最大厚さは 25~150mm である。部分的に導電インク、塗料又は繊維で処理されている。ハニカムのコアは詰め物をしないで輸送する。構造物維持だけが目的の材料と分離できなくなるからである。引き続き処理する導電インクと塗料はコアと全く違った原材料である。電波吸収ハニカムを図 17-4 に示した。

- 透明 RAM（T-RAM）はポリカーボネート状である。一般に可視スペクトラムを 75～85%透過する。電波吸収材料は繊維又は球状であり薄く被覆され、黄/緑の淡い金属色である。透明の見本を図 17-5 に示した。

Figure 17-4: A sample of radar absorbing honeycomb material.

図 17-4：レーダー波吸収ハニカム材料の見本

- 赤外線（IR）処理は一般に塗装又は被覆で行われる。これらの被覆は赤外線エネルギーの反射及び/又は放射に合わせて行われる。IR エネルギーは幅広いスペクトラム（0.8～14 ミクロンメーター波長）で用途も広いので IR 被覆は反射（低放射率）又は吸収（高放射率）設計がされる。IR 処理に用いる被覆は軍用に特に設計された変装用色又は太陽熱を反射するために設計された民用塗料が含まれる。これらの製品の IR 顔料には塗料中に多くの金属も含まれる。その他高放射率を得るために IR を吸収する顔料を含んだ設計がされる。これらの高放射率被覆には炭素を基礎としたものや他の高放射率粒子を基礎とした顔料（一般に黒色）が含まれる。これらの IR 塗料は顔料と結合剤が別に輸送されることがある。

Figure 17-5: A small sample of transparent RAM. Notice the protective covering adhered to the surface.

図 17-5：小さな透明 RAM の見本、表面に接着された保護被覆に注意

外観（梱包状態）:

- 吸収用繊維は 2～6 mm の長さであり一般にプラスチック袋、小瓶又は壷に梱包される。その質量は用いる材料に依存する。所要の長さに切断される前の輸送用の繊維は通常の織物繊維用糸巻き又は長さ 1～2 m、直径 2～10 cm の束の形状である。

- 吹付け塗料及びインクは一般に標準型缶で輸送される。その缶の中に乾燥剤を入れ顔料と結合剤は個別に輸送される。顔料は瓶、プラスチック袋又は缶で、結合剤は缶又はドラム缶で輸送される。多くは硬化されるまでは毒性が高いか腐食性物質である。

- 板状の発泡体は一般に 1 m×1 m 以下で厚さは 6～200 mm、質量は一平方米当り 40 g 以下である。これらはボール箱に梱包される。

- MAGRAM は板状、未硬化スラリー、完成部品又は原料の形（粒子、結合剤、硬化促進剤は全て個別に輸送）で輸送される。粒子は非常に細かい粉状か短

繊維の形状で輸送されるが腐蝕を避けるために疎水性液体に浸漬する。長さ幅とも数 m に重ねて輸送する。一つの板の厚さは 1 mm 以下から 10 cm 以上である。これらのシートは平らなパレットに重ねるかボール管の内側に巻き付けて輸送する。部品の形で輸送する場合は矩形のボール箱又は木箱で、大きさは 0.1×0.1×2 m 以下 20×20×20 cm 以上である。

- R-カードは各カード間に平滑紙を挟んで包又は箱で梱包する。大量の場合は長さ 0.2～2 m、直径 15 cm の乾燥剤を入れた管かボール箱に入れて輸送する。

- セラミック吹付けタイルは一般に空気袋包装材で包みボール箱で梱包する

- 吸収用のハニカムはボール箱で輸送する。

- T-RAM はポリカーボネート状の梱包か窓又はキャノピー部品のように梱包する。外面は保護用接着紙を貼る。小型の場合は箱詰めにする。

- IR 熱塗料及び被覆は一般に塗料製品用の缶に梱包する。IR 塗料顔料は缶、瓶、又はプラスチック袋に梱包する。

(c)認識低減の解析に特に設計されたソフトウェア又はデータベース

特性と目的：認識低減用の材料、システムを設計、作成するには一般にこれらの材料、システムを解析するためのソフトウェアとデータベースが必要である。認識低減の解析に特に設計されたソフトウェアとデータベースは規制される。これらのデータベース及びソフトウェアはシステム及び材料の認識低減能力を解析するための重要なデーターと機能が含まれている。

製造可能国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
韓国
スウェーデン
英国
米国

操作方法：放射と反射は多くの形態を取る。音響、無線周波数、赤外線エネルギー、ソフトウェア及び/又は放射及び反射（認識）の解析用に特に設計されたデータベース、情報又は方法論は材料の認識低減の性能評価に使用される。同

様にソフトウェアとデータベースは材料及び装置の有効性を決めるため及び既製品のどの部分の改良が必要かを決める解析システムに使用できる。

ミサイル関連の用途：これらは弾道弾、無人航空機、巡航ミサイル用の機体形状及び材料の解析に用いられ認識低減処理又はホットスポット検出（進歩用の重要部分）を選択するのに利用する。同様にこれらはシステム認識の評価、システムに選ばれた形状及び材料の性能特性、及び進歩の分野の評価に用いる。

他の用途:これと同様のものが多くの軍用品の認識低減解析に用いられている。陸上車輌、有人機、艦船、同様に人工衛星のエネルギー管理システムの効果解析に用いられている。更に保安警報システムの能動、受動の検知に用いられまた同様な技術の使用解析にも必要である。

外観（生産状態）:認識低減用に設計されたソフトウェアはフロッピーディスク、テープ及びコンパクトディスクに入れてある。幾つかの例を図 17-6 に示す。他にコンピューターネットワークがソフトウェア又は電子文書用に利用できる。

Figure 17-6:
Software in the form of a computer disc, a cassette tape, and written media.

図 17-6：コンピューターディスク、カセットテープ、書込みメディアの形状をしたソフトウェア

附加情報：各スペクトラムには独自に設計されたソフトウェアがある。多くの国及び軍契約者は解析及び設計の最適化用に開発した一、二、三次元コンピューターコードを持っている。無線周波（RF）/レーダースペクトルについてはモデル化できるアンテナ又はレドームのコードがレーダー断面積用（RCS）ツールとして用いられている。概略的に SIG、RF 又は RCS の文字を含むソフトウェアコード名は RCS コードとして認識すべきである。パソコンで使える基本的コードは基本的な良い設計手引きである。

特別な材料及び複雑な形状の場合はスーパーコンピューターで特別に決められたコードが必要である。RCS 設計コードのキー要素は機体の形状を適切なマ

ージン（最高周波数波長の 1/20）で決める能力、表面のベクトルとして非常に小さな要素を表す能力、透磁率及び電気透過率を含む四つの実数項とコンプレックス項形成の取扱い能力である。一般的な要求としてコードと計算機は膨大なマトリクスと数値を高速に変換し積算する必要がある。

IR 熱コードは容易に得ることができず成熟していない。しかし民用のコードが軍用を修正して使用できる。これらのコードは熱管理用も含まれる。RF は同様にコードは表面要素の寸法及び方向のベクトル表示が重要な出発点である。赤外線放射の大気透過率の算出コードは各高度、季節、環境、気体の種類が設計過程で用いられる。航空機の熱伝達を決めるコードは重要である。燃焼生成物が噴出口から出て膨張し大気に拡散する量と噴炎温度を決めるコードが代表的に含まれる。(この噴炎モデリングはしばしばエンジンの代表的コードであるが更に噴射性能を決めるのに用いる。)入力として材料の放射率と二方向反射係数として用いるコードは赤外線認識制御の設計に用いる。

外観（梱包状態）: フロッピーディスク、テープ、コンパクトディスク上のソフトウェアは小包、小袋、郵便筒、箱など広範に梱包される。ソフトウェアはハードウェアにも記録される。

(d) レーダー断面積測定に特に設計されたシステム

製造可能国
フランス
ドイツ
イスラエル
日本
ロシア
スウェーデン
英国
米国

特性と目的： レーダー断面積測定装置は防空用レーダーによる発見性を減少させるためにミサイルシステムのレーダー断面積（RCS）の評価、形状作り、及び減少用に開発された。RCS 測定装置は屋内でも屋外でも使用できる。軍用にも民用にも使用できる。RCS 測定装置は材料資料、ミサイル部品、ミサイルの縮尺モデル、実際のロケット又は無人航空機システムに使用できる。

操作方法： 試験において対象物は目標と呼ばれ、無関係なレーダー散乱源を最小にするように他の対象物をなくして試験区域内に固定又は吊るされる。目標

は既知の振幅を示す特定のレーダー周波数帯でレーダー波を繰返し照射し反射を測定する。測定結果は評価され目標のレーダー反射率を周波数及び観測角度の関数として決定される。

ミサイル関連の用途：この装置はロケット、無人航空機又はペイロードのレーダー認識を決定し形状作り、及び減少させるために必要なものである。これらの測定システムは計算モデルの性能を評価し、そのミサイルが要求通りに減衰させた形に設計されているかを測定し検証する。或種の RCS 装置はレーダー吸収材の特性測定に使用される。

他の用途：RCS 測定システムは軍用の車輌や航空機、艦船のレーダー認識に使用できる。測定には形状作り又は RCS 減少の情報が含まれる。室内 RCS 測定レンジでは携帯電話、自動車用アンテナ、人工衛星用パラボラアンテナのような各種民用アンテナ性能のパターンを測定することができる。

外観（生産状態）：室内 RCS 測定レンジの基本的要素を以下で説明し図 17-7 に示す。

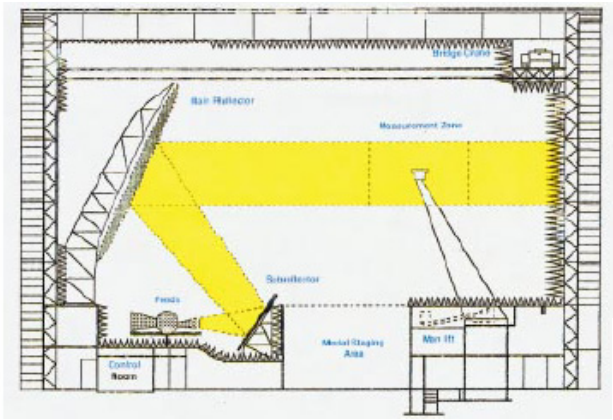


Figure 17-7: Schematic of a typical Cassegrain indoor RCS measurement range.

図 17-7：室内 RCS 測定レンジの代表的カセグレンアンテナの概略図

- **レーダー源装置：**RF 装置は電子装置を棚に設置し組立て、RCS 測定システムとして用いる。上下に動く測定ホーンでレーダー波を放出する。広い幅の放射数帯に対応するために放射円錐ホーンの直径は内幅で 1～100 cm である。放射ホーンの長さは一般に内幅の半分から二倍である。後端には同軸ケーブル又は電波を伝達する金属管がある。RCS 測定システムにおいてレーダー放射源は民用レーダーシステム（例えば海洋レーダー）のレーダー源に置き換

えることができる。ネットワークアナライザーは吸収、反射の測定ができ一般に民用のアンテナ、電磁干渉、シールド材の開発に利用される。RF ケーブルは低損失の同軸ケーブルであり各装置の接続に必要である。このケーブルの長さは色々であるが一般に直径 1～2cm で表面は金属網である。

- **デュアル反射器:**カセグレン測定システムは反射器として異なる寸法の二つの大きな板か皿を用いる。形状は円形、楕円形、矩形である。板の表面部分には幾つかの検定印があり塗装されている。反射器は素材を組上げ端部は丸めるか波形である。代表的な巡航ミサイル用 RCS 測定反射器は二個で厚さが 2～5cm、主軸の長さは 4m と 5m である。二つの反射器は直径 2m の測定”スイートスポット”を作り出す。代表的なデュアル反射測定システムを図 17-8 に示す。このタイプのシステムは室内測定用に以前から使用されている。測定システムは単一反射器を工夫して使用することもできる。

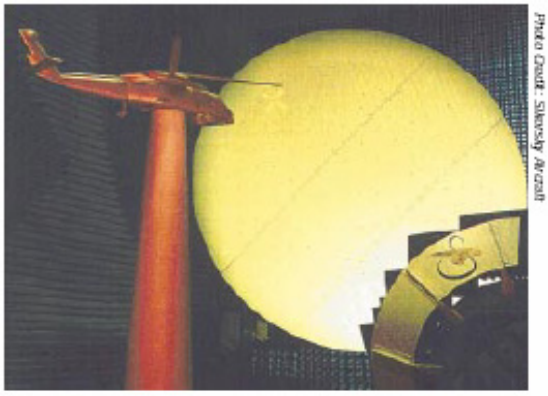


Figure 17-8: RCS measurement equipment using a dual reflector system.

図 17-8:デュアル反射システムを用いた RCS 測定装置

- **目標支持具:**この支持具は目標を地面に保持しレーダー照射を受ける。可能な限りレーダーを感知しない必要がある。発泡スチロールの円柱、レーダー吸収材（RAM）で被覆された支柱、中空支持するための紐等で目標を支持又は吊るすのが通常の方法である。発泡スチロール円柱は高さ 2m、直径 0.5m から高さ 5m、直径 2m の範囲である。その水平断面は円形（テーパー付又はなし）四角形、三角形、又はダイモンド形状である。頭部を切った円錐柱を図 17-8 に示す。金属の支柱又は塔の長さは 2～40 m で先端部は 5×30 cm であるが短い塔は基部で 50×90 cm である。高い塔は基部で 2×8 m である。発泡スチロール柱又は塔は前方に傾斜できる構造になっている。回転装置で発泡スチロール柱も目標も回転することができる。通常の回転盤の上に 3～5 本の発泡スチロール柱を設置して目標の支持と回転を行う。又或る柱は上端

で目標との回転治具を取付ける。

- **二方向アーチ:**ミサイルの RCS を測定するその他の方法は二方向アーチ（弓形）を用いる。図 17-9 に示すようにアーチに沿って放射ホーンを移動させるのに電動のモーターシステムを用いる。アーチと制御計算機はケーブルで接続され（一般にキーボードとモニター付パソコン）制御信号を送る。供試体はアーチの決められた面に対し垂直にアーチの中央に設置される。供試体の一辺は 0.3～1 m である。補正用には供試体と同じ寸法の平滑な金属板を用いる。

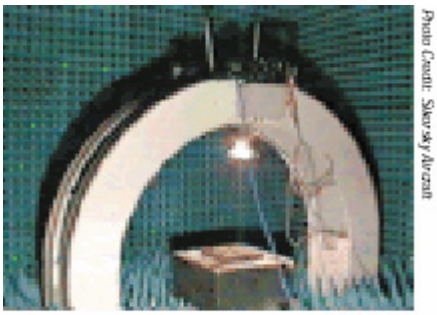


Figure 7-9:
Bidirectional
reflectance arch.

図 17-9：二方向反射アーチ

外観（生産状態）: RCS 測定システム用の透過/反射トンネルは換気できる薄い金属板の大きな構造物である。二個の同様な金属製のレーダー波供給用ホーンがありレーダー波供給及び検出測定装置と同軸ケーブル又は導波管で接続されている。キーボードとモニター付パソコン様の計算機でこれらは制御される。換気の部分にはレーダー波吸収発泡体（一般に青又は黒色で表面に突起がある。）が取付けてある。室内システム及び広い範囲の屋外システムでの直接の照射は通常形状のパラボラレーダー反射器が用いられその直径は数センチから 10 m である。

外観（梱包状態）: レーダー装置を一体で運送することは稀で多くの部品を現場で組立てる。電子装置や民用コンピューターを保持梱包するための工業標準以外の特別な梱包をする必要はない。或種の部品（カセグレン反射器のような）はかなり大きく特別な木枠が必要となる。発泡スチロール目標支持具は壊れ易いのでへこみを防ぐ包装が必要である。

カテゴリⅡ～アイテム 18

核の影響からの防護

ロケットシステム及び無人航空機の核爆発の影響から防護するための手段（例電磁パルス（EMP)、X 線、複合爆発及び熱影響）及び次に示すアイテム 1 のシステムに使用することができるもの

(a) “耐放射線設計された”集積回路及び探知装置

アイテム 18(a)の注記：

探知装置（検知機）は次のように定義される。機械的、電気的、光学的又は化学装置で自動的に検知し記録するか、圧力又は温度環境の変化、放射性物質からの電気的又は電磁的信号又は放射線のような刺激の記録装置

製造可能国
フランス
イスラエル
日本
ロシア
スウェーデン
英国
米国

特性と目的：集積回路は核兵器の爆轟で発生するガンマー線、X 線、電磁放射線から保護する必要がある。第一の問題は回路に永久電荷が生じ応答能力を破壊するか又は完全破壊（latch up）させることがある。この影響は回路に与える全線量に依存する。二つ目の問題は回路の過電流で誤作動又は破壊を起こす。この影響は回路に対する放射線付与速度に依存する。(線量速度) このような影響から回路を保護する幾つかの方法のうち MTCR では二つの方法が規制されており、その一つは本質的に集積回路を電離放射線の全線量から保護する（耐放射線化）他は放射線の検知機を用いて核爆発からの線量速度を感知して回路の電源を遮断するか､爆発の影響が終了するまでトリガー保護装置を作動させる。

操作方法：耐放射線集積回路は使用法も外観も通常の集積回路と同様である。しかし過剰な付加電荷に耐えるための材料及び操作がなされている｡層間絶縁用新酸化物､高純度化、気孔の減少、時には絶縁層の研磨、これらはすべて絶縁用酸化物の電荷保持を減少させるためのものである。これらの技術は耐放射線集積回路のコストを非常に増大させる。又これらは数値作動速度を低下させる傾向にある。放射線検知機は比較的に簡単な装置で発生放射線によって電流の増加を感知するものである。放射線が閾値を超すと検知装置は保護回路に制御信号を送り、敏感な装置の回路を遮断するか装置が、発火するのを防ぐために装置を遮断する。この検知機は一般に装置の製造中又は保守作業中正常に作動することを確認するためにも使用する。これらの装置は放射線の影響に耐えなければならず（再可動

可能）集積回路の破壊が起こる前に保護指令を確実に出さなければならない。

ミサイル関連の用途：耐放射線集積回路及び検知機は、核環境の作戦に用いる弾道ミサイルに使用される。無人航空機の電離放射線からの保護は一般に必要がない。理由は放射線よりも非常に離れたところでの核爆発で発生する爆風圧に対しても無人航空機は脆弱だからである。

他の用途：耐放射線装置は軍用、通信用、科学用、気象用衛星、宇宙ステーション、天体観測のような長期間目的の宇宙船に用いられる。しかしこれらの用途に耐えるために必要な全線量は MTCR で規制されている（5×10^5 rads（Si））よりも一般にかなり低い値である。耐放射線集積回路は原子炉の安全用装置、制御用及びロボットシステム並びに高エネルギー加速装置、検出器、制御器及び安全装置のような高い放射線の環境でも使用される。

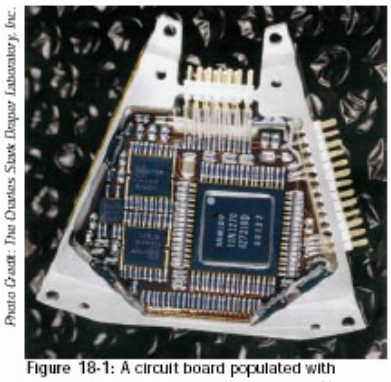


Figure 18-1: A circuit board populated with microcircuits hardened against nuclear effects.

図 18-1：耐核影響化した回路基板

外観（生産状態）：耐放射線電子部品及び組立ては特に気密封止した金属か表面を被覆したセラミックで包装された高密度の組立て品である。外観は民用品と同様であるが耐放射線化及び製品番号が記録されている。耐放射線集積回路で安定化させた二個の回路基板を図 18-1、18-2 に示した。

Figure 18-2: Another circuit board populated with microcircuits hardened against nuclear effects.

図 18-2：その他の耐核影響化した回路基板

放射線検知回路は数センチから十センチ平方の回路基板又は外部に幾つかの部品を付けた一つの集積回路からなり図 18-3 に示す。

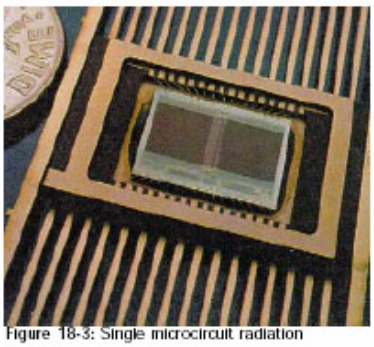


Figure 18-3: Single microcircuit radiation detector.

図 18-3：単一放射線検知集積回路

外観（梱包状態）：電子組立品及び部品は静電気注意と記されたプラスチック容器で輸送される。これらは耐衝撃用の発泡ゴム又は空気袋包装材で緩衝し、ダンボール箱に梱包する。

(b) 100 cal/cm^2 以上の熱衝撃及び 50 Kpa 以上の圧力に耐えるように設計されたレドーム

製造可能国
ロシア
米国

特性と目的：レドームは非金属構造で環境からアンテナを保護するものであり信号損失と歪を最小にして無線信号を透過させるものである。それらは一般にセラミック又はシリカフェノール複合材のような絶縁材で作られている。要求される規格はレドームが苛酷な熱と圧力環境に耐えることである。

操作方法：レドーム物質は機械的強度と要求領域の周波数帯における信号透過率で選択される。これらは一般に空気力学的に好ましい形状をしており信号のプリズム又はレンズ効果による不要な動揺を防ぐ形状をしている。アンテナを入れた正しく設計されたレドームは最低の歪で信号を送受信することができる。

ミサイル関連の用途：このアイテムにおいては厳しい環境条件が規定されており或種の巡航ミサイル及び短～中距離弾道弾用再突入機（RVs）ミサイルに規制されている。このようなレドームの一つの使用法は目標へ RV を誘導するための頭部に挿入された能動レーダー探知器を保護するためのレドームである。長距離ミサイルの大気圏再突入は非常に高速でレドームは頭部内を保護するためのものである。これらの RV においてレドーム（窓）は再突入機体の後部に取付ける必要がある。これらのレドームは多くの無人航空機では核影響の対処がなされていないので必要がない。いづれにしてもレドームはミサイルサイロ又は司令所において核攻撃に耐えるようにアンテナを保護する。

他の用途：これらのレドームの民用は少ない。

外観（生産状態）：RV 頭部に搭載して検知機を保護するために用いるレドームは図 18-4、18-5 のように円錐形である。これらの寸法は取付ける RV の形状によって変わり直径及び長さは 30 cm から 1 m 以上である。この物質は基本的に誘電体で積層又は単一のサンドイッチ発泡体で一体成形されたレドームである。薄い壁の誘電体枠(DSF)レドームは一般に厚さ 0.1 cm 以下で小型アンテナ用に

図 18-4：空気力学形状のレドーム

使用される。固体の積層壁 DSF レドームの厚さは一般に 0.25 cm である。2 層のサンドイッチ DSF レドームは内側に発泡層が添付されている。この発泡層の厚さは基本的に断熱と 100 cal/cm ^{2} の熱衝撃負荷に耐えるように決められている。発泡芯の複合材サンドイッチレドームは最も高価な設計で 50 Kpa 以上の負荷圧力に耐える強度を有している。サンドイッチ発泡芯の壁は最高電波周波数信号の 1/4 波長の長さがある。

図 18-5：再突入機の検知機を保護するための同様なレドーム

外観（梱包状態）：レドームはその薄壁構造を保護するために外枠支柱の木枠で輸送される。レドームは輸送中の構造剛性を維持するために後端面を密封してポリエチレン袋で包装する。レドームを保護するために外枠支柱で木の隔壁を作るか、その場でポリウレタンを発泡させて保護する。

カテゴリⅡ～アイテム 19

その他のロケット及び無人航空機システム

完全なロケットシステム（弾道ミサイルシステム、宇宙打上げ機及び観測ロケットを含む）及び無人航空機（巡航ミサイルシステム、標的機、及び偵察用無人航空機を含む）でアイテム 1 に含まれず 300km 以上の射程を示すもの。

特性と目的：このアイテムでは射程 300 km 以上のミサイルが含まれるが、ペイロードは 500 kg 以下である（その他このミサイルはアイテム 1 に準拠する)。このアイテムに含まれ評価されるミサイルはペイロードと飛行距離の兼合いを考慮する必要がある。この固有の性能は製作仕様又は運用概念によって大きく異なってくる。無人航空機の固有性能を決めることは弾道ミサイルのこれらの性能を決めるよりも複雑である。これらのシステムは核兵器ように本質的に必要な最低質量の制約を受けない化学及び生物兵器使用に適しているので MTCR の規制を受ける。このアイテムに含まれるロケットと無人航空機はアイテム 1 に示されるミサイルと無人航空機より小さい点以外は同一である。これらは同様に操作され同様な用途であり外観も殆ど同一である。(寸法の違い以外は）輸送も同様に梱包される。代表的なカテゴリⅡシステムを図 19-1、19-2、19-3 に示す。

製造可能国

オーストラリア
ブラジル
ブルガリア
中国
チェコ共和国
エジプト
フランス
ドイツ
インド
イラン
イラク
イスラエル
イタリア
日本
リビア
北朝鮮
パキスタン
ロシア
南アフリカ
韓国
スペイン
英国
米国

Figure 19-1: A jet-powered Category II unmanned air vehicle in front of its transporter erector launcher.

図 19-1：カテゴリⅡジェットエンジン無人航空機と
移動式発射台の前面

Photo Credit: General Atomics Aeronautical

Figure 19-2:
A typical unmanned air vehicle design normally used for reconnaissance missions.

図 19-2：偵察用に設計された代表的な無人航空機

Photo Credit: STN ATLAS Elektronik GmbH

Figure 19-3:
A propeller-driven UAV launched from a rocket booster.

図 19-3：ブースターロケットで発進された

プロペラ無人航空機

カテゴリⅡ～アイテム 20

その他の完全なサブシステム

アイテム 1 以外のアイテム 19 システムに使用される次の完全なサブシステム、同様に“製造設備”及び“製造装置”として特別に設計されたもの

(a) 多段ロケットの各段

(b) 固体又は液体推進薬ロケットエンジンであって全力積 8.41×10^5 Ns(ニュートン秒)（1.91×10^5 lb-s）以上、1.1×10^6 Ns（2.5×10^5 lb-s）以下

製造可能国

ブラジル
中国
フランス
ドイツ
インド
イラン
イラク
イスラエル
イタリア
日本
北朝鮮
パキスタン
韓国
スペイン
ウクライナ
英国
米国

特性と目的：アイテム 19 に含まれるシステムに使用される固体ロケットの各段及びロケットモータは寸法を除いてはアイテム 2 に示されるものとすべてについて同様である。それらの操作は大型のモータと同様であり外観は寸法が小さいことを除き同様であり、また同じ梱包方法が用いられる。カテゴリⅠ及びⅡの固体ロケットの例を図 20-1 に示す。カテゴリⅡの 4 台のロケットモータを入れた輸送用木箱の側面と端面をそれぞれ図 20-2、20-3 に示した。

アイテム 20 の性能を示す液体エンジンは比較的に少ない。一般にはより大推力のエンジンか宇宙船の大気圏外軌道修正用に設計された小型のエンジンである。気象観測用ロケットの比較的に小推力のサステーナーエンジンの略図を図 20-4 に示した。軌道修正用エンジンは低推力レベルで運用するので推進装置として適合しないと思われるが、しかし標準的には数分間作動することができるのでアイテム 20 の全力積最低規制値を越すことができる。このような宇宙打上げプログラムに用いられる軌道修正用エンジンの例を図 20-5 に示した。このエンジンは 440N の推力を 2000 秒間以上出すことができる。更に全ての液体ロケットエンジンは単に推進薬タンクを大きくするだけでより大きな力積が得られる。

製造設備と装置はアイテム 2 で述べたのと同様である。これらの設備や装置は寸法が小さいだけで、大きな各アイテムのものと区別することはできない。

Figure 20-1: On the right, solid rocket motors controlled under Category II. Motors on the left are large enough to be controlled under Item 2, Category I.

図 20-1：右側はカテゴリⅡで規制された固体ロケットモータ、左側はカテゴリⅠ、アイテム 2 で規制された大きなモータ

Figure 20-2: Side view of a shipping container containing four Category II solid rocket motors.

図 20-2：カテゴリⅡの 4 台の固体ロケットモータが入った輸送用コンテナの側面

Figure 20-3: End view of a shipping container containing four Category II solid rocket motors.

図 20-3：カテゴリⅡの 4 台の固体ロケットモータが入った輸送用コンテナの端面

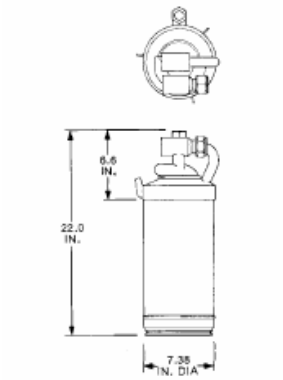


Figure 20-4: A sounding rocket sustainer engine that develops 1.8×10^4 N of thrust for approximately 51 seconds.

図 20-4：気象観測ロケットサステーナーエンジン：推力 1.8×10^4 N、約 51 秒

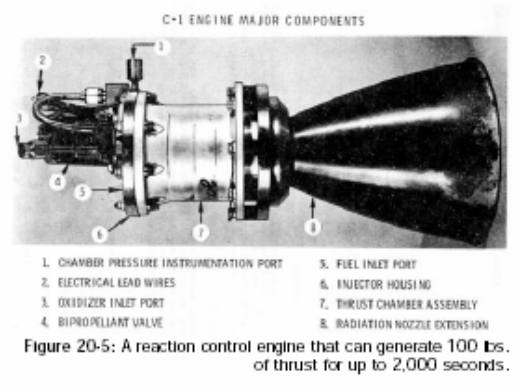


Figure 20-5: A reaction control engine that can generate 100 lbs. of thrust for up to 2,000 seconds.

1. 燃焼室圧力測定装置部　2. 電気配線　3. 酸化剤導入部　4. 二液推進薬バルブ　5. 燃料導入部　6. 噴出器枠　7. 燃焼室組立て　8. 排気ノズル膨張部

図 20-5：軌道修正用エンジン、推力 100 ポンド、2000 秒以上、C-1 エンジンの主要構成部

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

非　売　品
禁無断転載

平成 15 年度
機械産業の対外経済活動に与える安全保障関連動向調査報告書
（生物剤及び生物兵器関連資機材と規制基準）
（ロケット航法装置）
（ロケット試験設備とステルス技術）

発　行　　平成 16 年３月
発行者　社団法人　日本機械工業連合会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目５番８号
電　話　０３－３４３４－５３８４

財団法人　安全保障貿易情報センター
〒105-0001
東京都港区虎ノ門一丁目６番６号　晩翠軒ビル
電　話　０３－３５９３－１１４８